"Thalassa Aitheria" Reports
RCMPI-96/05

К ОПИСАНИЮ КЛАССА ФИЗИЧЕСКИХ ИНТЕРАКТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.

Д.В.Юрьев[1)]

В данной работе последовательно излагается принципиальная сторона теоретического подхода к решению актуальной, но почти не разработанной задачи математической физики описания естественных интерактивных психоинформационных (в том числе визуальных, иных сенсорных, респираторных или комплексных) систем. Ключевую роль в конкретной методике описания играют аппарат аномальных виртуальных реальностей и вторичного синтеза изображений в современной неклассической начертательной (компьютерной) геометрии, а также исчисление коэффициентов Клебша–Гордана и его обобщения. Выявлены связи обсуждаемой методики и ее отдельных фрагментов с различными другими психоинформационными (драйверными или интерфейсными) компонентами "информационной магистрали".

В настоящее время исследования на стыке экспериментальной математики, психофизики и computer science в *физике информационных сред, структур и систем* (как естественных, так и искусственных или смешанных) представляют первостепенную значимость (цм. например, [1]), являются актуальными, по указанной тематике функционирует целый ряд как национальных (США и страны Западной Европы), так и международных (в рамках Европейского Содружества) научных программ. Они проводятся как крыпными коллективами государственных научно–исследовательских институтов, частных или коммерческих научных центров, так и отдельными специалистами в перечисленных странах и во всем мире.

В работе автора [2] указывалось на то, что искусственные интерактивные психоинформационные видеосистемы представляют интерес как язык математической физики (цр.[3]) для описания различных естественных (в том числе визуальных и иных сенсорных, респираторных или комплексных) интерактивных психоинформационных систем. Ключевую роль в подобном описании играет создание динамического изображения протекающего в естественной психоинформационной системе интерактивного процесса посредством интенциональной аномальной виртуальной реальности (ИАВР) [4,5,6:Прилож.1], реализованной (аппаратно и программно) компьютерографическим интерфейсом некоторой искусственной интерактивной системы, который в свою очередь указанная ИАВР геометрически моделирует. При этом изучение 2D и 3D *пространственно–динамичес-ких особенностей зрительного восприятия* и *интенциональных фе-*

номенов в искусственных интерактивных психоинформационных видеосистемах [7,1,4,5] следует относить к *физике* соответствующего *языка* (ср.[8]). *Операторные методы* (включая квантово–полевые и стохастические) в теории интерактивных видеосистем реального времени плодотворно развивались автором в серии работ [7,1,2,4-6]. *Геометрические аспекты* интерактивных систем (в частности, интерпретационная и неалександрийская геометрии) рассматривались в [4,5:§1,6:Прилож.1], в то время как в [5:§2] внимание уделялось их информационным аспектам. Математическая теория аномальных виртуальных реальностей (АВР), в том числе основные процедуры натурализации и трансцендирования (а также визуализации – ср.[9]), связывающие АВР с абстрактной геометрией, как особый раздел *современной неклассической начертательной (компьютерной) геометрии*, наряду с примерами ее использования при геометрическом моделировании конкретных компьютерных видеосред, последовательно излагалась в работах [7,4,5:§1,6:Прилож.1]. Интерпретация совокупности операторных (квантово–полевых) методов в теории интерактивных видеосистем реального времени как начертательной некоммутативной геометрии приведена в [1].

В данной небольшой чисто теоретической и в определенном смысле итоговой работе мы ограничиваемся классом естественных интерактивных психоинформационных систем, которые допускают выделение активной и пассивной составляющих: активного агента – "субъекта" и пассивного агента – "объекта". Такой класс естественных интерактивных психоинформационных систем наиболее близок к системам, допускающим одну из классических форм описания (формульного или графического, статического или динамического, алгоритмического, детерминированного или вероятностного). Изложим принципиальную сторону теоретического подхода к решению актуальной, но почти не разработанной задачи математической физики описания подобных систем. При этом основное внимание будет уделено, несмотря на некоторую перегруженность анализа чисто техническими, но необходимыми с практической точки зрения деталями (большая часть которых собрана, однако, в Приложении и Примечаниях), теоретическому выявлению фундаментальной роли *субъект–объектных отношений* в физике информационных сред, структур и систем (ведь, именно нередуцируемость указанных отношений обусловливает необходимость использования нестандартных интерактивных языковых средств для описания физических интерактивных информационных систем). Отметим, что развернутая постановка задачи изучения субъект–объектных отношений как фундаментальной проблемы теоретической физики принадлежит, по–видимому, Эрнсту Маху, чьи взгляды, в свою очередь, базировались на предшествовавших концепциях Г.Т.Фехнера и Г.Л.Ф.Гельмгольца. Кибернетические аспекты указанной проблемы отмечались Норбертом Винером. Подчеркнем, что интегрированность субъекта в физическую картину мира является неотемлемым характерным свойством физики информационных сред, структур и систем.

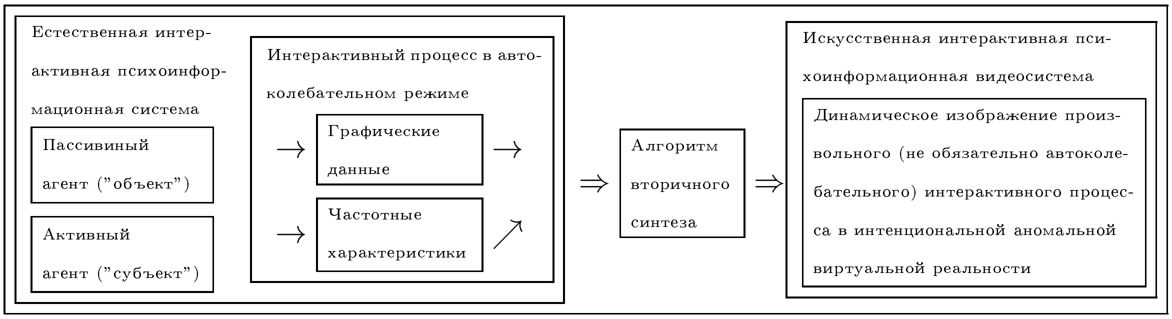
1. Виртуализация физических интерактивных информационных сис-

тем.

Определение. *Изображением естественной интерактивной психоинформационной системы с помощью искусственной интерактивной психоинформационной видеосистемы* будем называть задание алгоритма построения динамического изображения произвольного протекающего в естественной системе интерактивного процесса посредством интенциональной аномальной виртуальной реальности, реализуемой компьютерографическим интерфейсом искусственной интерактивной видеосистемы. *Виртуализацией естественной интерактивной психоинформационной системы* будем называть сопоставление ей ее изображения с помощью искусственной интерактивной психоинформационной видеосистемы по определенной совокупности экспериментальных данных о системе в установившемся автоколебательном режиме. В свою очередь исходную интерактивную систему будем называть *реализацией искусственной интерактивной системы.*

Иными словами, виртуализация естественной интерактивной психоинформационной системы посволяет по характеристикам некоторого ограниченного множества автоколебательных интерактивных процессов формировать динамическое изображение произвольного (не обязательно автоколебательного) интерактивного процесса посредством некоторой искусственной интерактивной психоинформационной системы. Выбор термина "виртуализация" связан с тем, что динамическое изображение интерактивного процесса представляет собой аномальную виртуальную реальность в широком смысле этого понятия (см.[4,5,6:Прилож.1]).

Ввиду деления интересующих нас естественных интерактивных психоинформационных систем на активную и пассивную составляющие (активного и пассивного агента) характеристики установившегося автоколебательного процесса подразделяются на графические данные о динамическом состоянии пассивного агента и частотные характеристики активного агента. Виртуализация естественной интерактивной психоинформационной системы таким образом заключается в задании алгоритма *вторичного синтеза* (см. Приложение) графических данных о динамическом состоянии пассивного агента при любом интерактивном процессе по заданной совокупности указанных данных при установившихся автоколебательных процессах из некотого множества, а также соотвецтвующих частотных характеристик активного агента в этих процессах. Тем самым, принципиальная структурно–алгоритмическая схема виртуализации естественных интерактивных психоинформационных систем, основанной на использовании вторичного синтеза изображений, имеет вид:



Описанная процедура виртуализации лежит в основе применения аппарата аномальных виртуальных реальностей как раздела современной неклассической начертательной (компьютерной) геометрии для графического представления и описания экспериментальных данных (ср.[9]) в физике информационных сред, структур и систем.

2. Критерий корректности виртуализации.

Критерий адекватности изображения и корректности виртуализации. Виртуализация естественной интерактивной системы является корректной, если получающееся в результате нее изображение этой системы посредством некоторой искусственной интерактивной психоинформационной видеосистемы адекватно исходной системе, то есть при одновременном функционировании как искусственной, так и естественной интерактивных систем с одним и тем же активным агентом воспроизведение изображения заданного интерактивного процесса позволяет (при определенном состоянии и решении активного агента) вызвать его управляемое протекание в естественной интерактивной психоинформационной системе.

Разумеется, изображение может быть однократно построено на основании экспериментальных данных о функционировании естественной интерактивной системы с другим активным агентом нежели тот, который участвует в воспроизведении изображения (что является характерной особенностью методики почти "по определению", поскольку исследуется сама интерактивность как таковая, а не реакции конкретного активного агента; в прикладном аспекте эта особенность обеспечивает возможность создания обучающих систем). Отметим также, что при воспроизведении изображения предусматривается совместное одновременное функционирование двых различных интерактивных систем (искусственной и естественной) с одним субъектом. Таким образом, основное отличие виртуализации от математической модели заключается в том, что последняя является *чистым дескриптором* физического процесса, в то время как первая – *дескриптором–конструктором*, что представляется существенным с прикладной точки зрения.

Вопрос о том, как возможна корректная виртуализация (т.е. теоретический вывод самой возможности из некоторых первых принципов), хотя и является весьма важным, существенным и интересным, не ставится в данной работе как не вполне относящийся к математической физике (однако, один из своих гипотетических ответов на этот вопрос автор рассчитывает изложить в другой работе): предполагается, что корректность каждой виртуализации и адекватность каждого изображения могут быть проверены лишь экспериментально. Тем не менее, имеет смысл сформулировать ряд феноменологических принципов, выполнение которых, по-видимому, необходимо для корректности виртуализации.

3. Феноменологические принципы виртуализации.

Принцип изоструктурной идеографичности виртуализации. Виртуализация естественной интерактивной психоинформационной системы должна быть построена так, что получающееся посредством нее изображение имела ту же внутреннюю алгебраическую структуру, что и исходная система.

Использование сформулированного выше принципа предполагает знание алгебраической структуры, лежащей в основе физической интерактивной системы. В силу опредления виртуализации данная структура должна быть восстанавливаема по данным о системе в автоколебательных (установившихся) режимах. В качестве таковых имеет смысл рассматривать состояние системы до "включения" взаимодействия и после установления стационарных автоколебаний. Экспериментальные данные о переходных процессах не используются. Таким образом, для определения алгебраической структуры физической интерактивной системы необходимо решить обратную задачу рассеяния.

Определение. Взаимное рассеяние состояний активного и пассивного агентов физической интерактивной системы в процессе ее функционирования будем называть *интерактивным субъект–объектным рассеянием.*

Отметим, что интерактивное субъект–объектное рассеяние, как правило, неупруго. тем самым, для восстановления алгебраической структуры целесообразно использовать математический аппарат *анализа негамильтонова взаимодействия систем*, фрагмент которого содержится в серии работ [10] и предварительной версии обзора [11]. Отметим, что постановка негамильтоновой обратной задачи рассеяния предполагает нахождение по данным рассеяния не только аналитических характеристик взаимодействия типа потенциалов, но и алгебраической структуры, управляющей взаимодействием [10,11]. Тем самым, негамильтонова обратная задача рассеяния включает наряду с обратной задачей потенциального рассеяния [12] обратные задачи теории потенциала (ср.[13]) и теории представлений [14].

Виртуализация физической интерактивной системы строится путем натурализации [7,1,4,5,6:Прилож.1] полученных при решении обратной задачи интерактивного субъект–объектного рассеяния алгебраических структур, описывающих симметрии (в обобщенном смысле) субъект–объектного взаимодействия. как бы то ни было, натурализация абстрактной квантовой модели определена неоднозначно. Конечно же, ее выбор носит более или менее эвристический характер (ср.[7,1,4-5]). Однако, разумно при этом иногда принимать во внимание некоторый феноменологический принцип, дополняющий сформулированный выше принцип изоструктурной идеографичности.

Принцип динамической эквивалентности интенций. Виртуализация естественной интерактивной психоинформационной системы должна быть построена так, чтобы параметры, характеризующие интенсивность интенции субъекта на объект, для нее и ее изображения совпадали в процессе динамического субъект–объектного взаимодействия. В качестве подобного параметра можно рассматривать корреляцию поведенческих реакций субъекта и динамических характеристик объекта.

Использование феноменологических принципов виртуализации, а также эвристические соображения, специфические для каждой конкретной задачи, должны обеспечивать корректность виртуализации. Таким образом, сформулированную в работе [2] задачу об описании класса физических интерактивных информационных систем можно считать теоретически решенной в принципе. Предложенная методика может, с одной стороны, последовательно применяться к имеющимся многочисленным конкретным задачам физики информационных сред, структур и систем, с другой же, что не менее важно, предоставляет возможность использования общих теоретических и математических методов для выявления связей между ними[2)].

Приложение: вторичный синтез изображений

Ключевая роль аппарата аномальных виртуальных реальностей и вторичного синтеза изображений (ВСИ) в рассмотренной методике заключается в обеспечении достаточной структурированности и, следовательно, потенциальной языковой насыщенности (ср.[5]) видеоинформации, отсутствие которых до настоящего времени являлось основным недостатком, тормозящим развитие подхода, ориентированного на видеосистемы, и стимулировавшим разработку альтернативных методик, использующих аудиосистемы (которые, однако, в силу своей ритмомелодической природы оказываются приспособленными скорее для реализации "жесткой настройки", нежели высокоскоростной интерактивности в реальном времени). С теоретической точки зрения ВСИ несомненно, несмотря на свое чисто техническое происхождение (в электронной компьютерной фотографии, ЭКФ), является фундаментальной процедурой *современной неклассической начертательной (компьютерной) геометрии* как самой по себе, так и как графической формы представления физических экспериментальных данных. Классическими аналогами ВСИ являются различные преобразования чертежа типа синтеза аксонометрии по трем проекциям или сечениям (в том числе нестандартного, типа "невозможных фигур" Эшера [15]), а также замены центра перспективы [16].

Поскольку применение ВСИ (наряду с распознаванием образов) вскрывает новые аспекты задач *идентификации объекта в контексте психофизической* (точнее, *феноменологической*) *проблемы*, имеет смысл уделить внимание конкретной, наиболее простой и характерной, форме ВСИ, вторичному синтезу изображений в ЭКФ. Основная идея ВСИ в ЭКФ, предложенного автором в 1992 году, состоит в преобразовании разнородных, но просто организованных входных визуальных данных (полученных в различные моменты времени в различных ракурсах и подвергнутых "стандартному" первичному синтезу [17]) в однородные выходные данные *более сложной* структуры в *нестандартной* цветоперспективной системе (ЦПС) [18]. Использование нестандартных ЦПС и, в частности, аномальных цветовых пространств, содержащих наряду с тремя основными базисными цветами достаточное количество оберцветов, позволяет полностью сохранить входную информацию при указанном преобразовании. Принципиальная схема ЭКФ, основанной на ВСИ, имеет вид:

$$\boxed{\text{Видеокомпьютер}} \leftarrow \boxed{\text{Компьютерный аномалайзер}} \leftarrow \boxed{\begin{array}{l}\text{Детекторы [принимающие}\\ \text{устройства, фотокамеры]}\end{array}}$$

Использование нескольких детекторов (принимающих устройств) позволяет учесть стереоэффекты, в то время как съемка в различные моменты времени – движение снимаемого объекта. Компьютерные аномалайзеры (computer anomalizers) преобразуют по определенному правилу входные данные, представленные в цифровой форме, в выходные данные, воспроизводимые на мониторе видеокомпьютера. Входная цифровая информация может подвергаться ВСИ как в момент съемки, так и в момент воспроизведения. В зависимости от выбора схемы компьютерный аномалайзер является либо приставкой к цифровой фотокамере, либо составной частью программного обеспечения видеокомпьютера.

Разберем процесс ВСИ в ЭКФ на модельном, достаточно характерном примере ЦПС "подвижного видения" (mobilevision, MV) [18], разработанного автором в 1991 году. MV представляет собой интенциональную аномальную виртуальную реальность, натурализующую квантовую проективную теорию поля (КПТП) [4-6] (см. также работы [19,2,20,1], в которых исследовались различные алгебраические структуры КПТП), или в иных терминах, интерактивную психоинформационную видеосистему с проективно–инвариантной обратной связью[3)], основывающейся на геометрических характеристиках движений глаз (положении точки взора и скорости ее смещения)[4)][6]. Интерактивные психоинформационные видеосистемы с биологической обратной связью, являющиеся упрощенными аналогами MV, интенсивно изучаются в настоящее время (начиная с 1993 года) в Лаборатории по изучению интерактивных систем "человек-компьютер" (Вашингтон)[21]; биологическая обратная связь в этих системах, будучи определяемой параметрами движения глаз, не является, однако, ни проективно, ни $\mathbf{SU}(3)_{\mathrm{color}}$-инвариантной, тем не менее отдельные разработки лаборатории (относящиеся к иным версиям *интерпретационных геометрий* [4,5,6:Прилож.1][5)] представляют определенный интерес в ракурсе данной статьи. Отметим также отечественные исследования особенностей зрительного восприятия в оптикомеханических интерактивных системах (см. работы [22] и ссылки в них).

Входные данные в случае MV описываются линейным пространством $V_{\mathrm{input}} = \oplus_{a\in A} V_a$, где V_a – линейные пространства, изоморфные обычному глобальному цветовому пространству V, индекс a характеризует принимающее устройство и момент съемки. Элементы глобального цветового пространства V – функции точки z экрана монитора со значениями в стандартном поточечном трехмерном цветовом пространстве V°. Выходные данные описываются аномальным цветовым пространством V_{output}, представляющим собой проективный $\mathbf{SU}(3)$-гипермультиплет [1,4-6]; структура проективного $\mathbf{SU}(3)$-гипермультиплета в аномальном цветовом пространстве реализует динамические симметрии (ср.[23]) в нем. Таким образом, компьютерный аномалайзер осуществляет поточечное отображение

D (вообще говоря, нелинейное) из V_{input} в V_{output}. Этому отображению соответствует линейный оператор $\hat{D}$ из $S(V^{\circ}_{\mathrm{input}})$, суммы симметрических степеней пространства $V^{\circ}_{\mathrm{input}} = \oplus_{a \in A} V^{\circ}_a$ ($V^{\circ}_a \simeq V^{\circ}$ (V° – стандартное поточечное трехмерное цветовое пространство) в линейное пространство $V^{\circ}_{\mathrm{output}}$, сумму мультиплетов проективного $\mathbf{SU}(3)$-гипермультиплета V_{output}. Длаы того чтобы найти допустимое множество отображений D из V_{input} в V_{output} (или, что то же самое, линейных операторов $\hat{D}$ из $S(V^{\circ}_{\mathrm{input}})$ в $V^{\circ}_{\mathrm{output}}$), осуществляющих ВСИ, необходимо учесть внутренние симметрии $V^{\circ}_{\mathrm{input}}$ и $V^{\circ}_{\mathrm{output}}$. Естественно предполагать, что $\hat{D}$ является $\mathbf{SU}(3)$-сплетающим оператором [24]; тем самым, отображение D строится на базе коэффициентов Клебша-Гордана группы $\mathbf{SU}(3)$ [25].

Рассмотрим случай ${}^{\mathrm{t}}\mathbf{SU}(3)$-WZNW-цветового пространства [18] в качестве примера. В этом случае, как правило, определена естественная проекция $D_0 : T(V^{\circ}) \mapsto V^{\circ}_{\mathrm{output}}$, где $T(V^{\circ})$ – сумма тензорных степеней пространства V°. Оператор D_0 непосредственно выражается через коэффициенты Клебша-Гордана группы $\mathbf{SU}(3)$, в то время как отображение D определяется полиномом $P(x_1, \dots, x_N)$ от N некоммутирующих переменных x_a, отвечающих входным пространствам V_a ($N = \#A$), а именно, если v_a – совокупность элементов из V_a, то $D(v_1, \dots, v_n)(z) = D_0(P(v_1(z), \dots, v_N(z)))$ для произвольной точки z экрана.

Пространственные симметрии определяются конфигурацией принимающих устройств. Например, в бинокулярном случае имеется $\mathbb{Z}_2$-симметрия, а в диэдральном гексагональном случае D_6-симметрия, таким образом, в наиболее интересных случаях геометрические конфигурации детекторов описываются конечными группами [26]. Временные симметрии могут быть рассмотрены аналогично. если симметрии образуют группу G, то эта группа обязана действовать в проективном $\mathbf{SU}(3)$-гипермультиплете V_{output} автоморфизмами. Указанное требование сужает круг допустимых аномальных цветовых пространств, а также накладывает на оператор D дополнительное условие: он должен быть не только $\mathbf{SU}(3)$-сплетающим, но и G-сплетающим оператором; как следствие, при построении многочлена $P(x_1, \dots, x_N)$ используются коэффициенты Клебша-Гордана конечной группы G. Исследование возможных скрытых симметрий (особенно, при обработке различных физических экспериментальных данных сложной нецветовой структуры, что типично для общих, не обязательно чисто визуальных, естественных интерактивных информационных систем) представляет собой весьма интересную задачу (на важность изучения скрытых симметрий и связанных с ними динамик указывалось в работе автора [1], текущее состояние дел отражено в обзоре [14] и ссылках в нем). В связи с тем, что алгебраические объекты, описывающие скрытые симметрии, могут иметь весьма сложный характер, изучение возможных обобщений (в особенности, нехопфовых) исчисления коэффициентов Клебша-Гордана и связанных комбинаторных структур представляет особый интерес.

Отметим также в заключение, что *системы вторичного синтеза изображений в электронной компьютерной фотографии* представляют интерес и как объект самостоятельных исследований[6)]. Наиболее перспективным является, по-видимому, изучение интеллектуальных систем ВСИ с динамической интерактивной настройкой (а также разработка портативных видеосистем синхронного БСИ и комплексных многопользовательских систем, ср.[5][7)], последние имеют несомненное значение в контексте статьи [2] и данной работы). Кроме того, системы ВСИ с динамической интерактивной настройкой (в том числе многопользовательские) могут рассматриваться как системы "автоматической аранжировки восприятия" в ракурсе деятельности, связанной с компьютерными системами интерактивного "автоматического письма", а также исследований синтетической перцепции. Имеет смысл и изучение октонионного аномального 3D стереосинтеза [4][8)] (некоторые симметрийные аспекты обычного стереосинтеза в рамках психологии восприятия и теории машинного зрения исследовались, например, в [27]), киральной диссимметрии зрительного анализатора в интерактивных процессах и ее влияния на стереосинтез, так же как и приложения ВСИ в ЭКФ к проблемам цифрового, в том числе интерактивного, висео[9)] и интерактивного компьютерного зрения [28].

Представляется также особо важным изучение совместного функционирования естественных интерактивных систем и их виртуализаций (и в данном случае уместно говорить об уровнях реальности) при разработке специфически комплексных естественно-искусственных (интегрированных) интерактивных систем (реализующих *"интегрированную реальность"*), в том числе систем ускоренной невербальной когнитивной коммуникации, одна из компонент которых изучалась в [5:§2]. Подход к разработке интегрированных систем ускоренной невербальной когнитивной коммуникации, базирующихся на использовании ИАВР-телестезии в качестве аппарата предварительного распознавания и интерактивной *самонастройки* коммуникационных "ключей" субъектов, а также их динамической синхронизации, призван обеспечить поканальную интерактивную определяемость "ключей" связи и, тем самым, принципиальную неинтерпретируемость (недешифруемость) сообщения извне. К интегрированным системам, включающим в себя искусственные интерактивные видеоподсистемы автоматической аранжировки восприятия (см.выше), относятся интегрированные видеосенсорные системы интерактивного зрения (ср.[6]) с естественной сенсорной подсистемой и интегрированные видеореспираторные интерактивные системы (т.е. интерактивные видеосистемы с респираторной модуляцией или, в более общем случае, трансформацией визуальных интерактивных процессов) психофизиологического аутотренинга (как пассивно-релаксационного, так и активно-динамического). В то же самое время сами искусственные интерактивные психоинформационные видеосистемы интересны с точки зрения задач организации и интенсификации человеко-нашинного интерфейса (см.напр.[29]), работы систем управления в полуавтоматическом режиме и передачи информации через компьютерные сети, при этом операторные (квантово-полевые) аспекты теории интерактивных видеосистем могут оказаться полезными для адаптации методов квантовой криптографии [30] к последнему из упомянутых кругу вопросов. С другой стороны, возможны интересные приложения квантовой теории управления и идемпотентного анализа [31] к интерактивным видеосистемам управления в полуавтоматическом режиме в рамках операторного (квантово-полевого и стохастического) подхода.

Важной задачей является определение спектра квазичастиц в абстрактных квантово-полевых моделях интерактивных видеосистем реального времени[10)], в частности, информационных квазичастиц, способных к самоорганизации и самовоспроизведению в интерактивных процессах, (*винеронов*), и ненаблюдаемых информационных квазичастиц, структурирующих восприятие остальных объектов, (*паулионов*, ср. прим. 9), а также выявление связи квантово-полеого "одевания" субъекта в указанных моделях и виртуальных наблюдателей в интерактивных видеосистемах [5:§2].

Определенный интерес для теории интерактивных видеосистем представляют и струнно-полевые модели [32], и, как следствие, объекты бесконечномерной геометрии, лежащие в их основе [33,32; и ссылки в них].

Актуальной задачей является разработка систем фильтрации в динамических интерактивных видеосистемах (а также смешанных и интегрированных системах), использующих алгхоритмы вторичногосинтеза, что с теоретической точки зрения предполагает анализ изображений, обратный описанному выше вторичному синтезу. Совместное использование методов анализа и вторичного синтеза позволяет производить ресинтез вторичносинтезированных изображений (математические аспекты ресинтеза затрагивались в обзоре [14]). Отметим, что в контексте создания интегрированных интерактивных систем небезынтересно изучение спектра возможных реализаций фиксированной искусственной интерактивной системы.

В заключение, автор рад выразить признательность проф.Э.Э.Годику за беседы в 1993 году, заложившие основу изложенного выше авторского подхода к описанию физических интерактивных систем (а в прикладном аспекте обусловившие ориентацию на возможность его использования для создания обучающих систем). Автор благодарен акад.И.В.Смирнову за обсуждение как концептуальных (теоретических и практических) аспектов темы, так и конкретных приложений; проф.А.Ю.Морозову и участникам его семинара в ИТЭФ, способствовавшим кристаллизации общефизического и информационно-физического понимания предмета автором; проф.В.Н.Колокольцову, благодаря беседам с которым оказалось возможным истолкование сюжета в терминах интерактивого управления и интерактивных игр и, следовательно, как раздела теории управляемых систем и метематической теории игр, а также многим другим коллегам, чье влияние на формирование фрагментов и отдельных деталей общей картины несомненно.

Примечания.

1. Предварительные электронные версии основного текста и Приложения располагаются в электронном архиве Национальных Лабораторий в Лос Аламосе (США) по адаптации и самоорганизации под номерами "adap-org/9409003" и "adap-org/9409002".

2. Изложенная методика описания класса физических интерактивных информационных систем не предполагает редукцию математики, лежащей в основе произвольных сенсорных воспиятий, к той или иной геометрии. Предполагая, следуя Т.Саати

[8], наличие особой, еще математически не выявленной, непространственной, негеометрической интуиции иных, отличных от зрительных, сенсорных восприятий, она намечает экспериментальный путь к раскрытию существенных связей между соответствующей математикой и геометрией, подобных взаимоотношению между последней и алгеброй, раскрытому в конце XIX столетия.
3. Инвариантной также относительно приближенных цветовых $\mathbf{SU}(3)_{\mathrm{color}}$–симметрий [4-6] (см. также [34]).
4. Таким образом, простейшие демонстрационные версии MV могут быть реализованы наряду со многими другими интерактивными видеосистемами в "домашних условиях" на стандартном ПК с системой цифровой обработки биосигналов. Базисные сведения о написании драйверов для подобных систем, введение в основы организации видеосистем ПК и их программирование, а также элементы программирования в реальном времени и анимации в среде Windows содержатся в книгах [35,36].
5. Отметим, что конструктивно задаваемые методами экспериментальной математики различные интерпретационные фигуры формализуются не аксиоматически, но описываются динамическими симулякрами понятий, т.е. интерактивными понятийными объектами с динамическим (интенциональным) смысловым содержанием. Таким образом, использование динамических симулякров является естественным для экспериментальной математики, оперирующей с явно построенными объектами, не допускающими выделения базисной конечной, счетной или конструктивно описуемой системы свойств, из которых все остальные свойства выводятся формальными методами.
6. Автор располагает экспериментальной версией программного пакета "Mañjušri" вторичного синтеза TrueColor Bitmap изображений в среде Windows, разработанной в ЦМФИ "Таласса Этерия".
7. Отметим, что один из результатов последней работы состоит в выделении класса геометрических объектов экспериментальной математики (см.прим.5), наблюдаемых только в многопользовательском режиме (потайных фигур), что представляется весьма существенным для понимания характера субъект–объектных отношений в целом и в контексте проблемы полисубъектности, в частности. Многие интерактивные процессы в многопользовательском режиме имеет смысл рассматривать как *интерактивные игры* в рамках общей математической теории игр [37], при этом, можно говорить о виртуализации и реализации интерактивных игр. Формально под *интерактивным управлением*, которое и реализуется игроками в интерактивных играх, понимается управление, спаренное с неуправляемой и не известной полностью обратной связью. С этой формальной точки зрения математический интерес представляет разложение сложного интерактивного управления по простым базисным или иное преобразование к ним ввиду существенной нередуцируемости интерактивности как таковой.
8. Некоторые моменты, отчасти напоминающие стереосинтез в MV, встречаются и в *неинтерактивных* стереосистемах эмуляции трехмерной виртуальной реальности, построенных на принципах динамического (неинтерактивного) экранирования. Использование динамического интерактивного экранирования (которое может быть осуществлено как программно, так и на аналоговом или цифровом аппаратном уровне) вместе с механизмами, описанными в работах [5,1,4-6], предоставляет оптимальное решение проблемы неразрушения изображения (см.[6]) в "подвижном видении". Имеет смысл рассматривать и функциональное (использующее предысторию) динамическое экранирование (экранирование с памятью), в квантовой теории измерения аналогичная неинтерактивная процедура была недавно предложена Д.А.Славновым [38]. В модели Д.А.Славнова, вне зависимости от ее адекватности квантовой реальности, заключены важные ресурсы с точки зрения физики информационных сред, структур и систем. Аналоговое интерактивное динамическое экранирование может основываться как на сравнительно простых (интерактивных) интеграторах сигналов цветности, так и на объемных вектор–матричных перемножителях, включающих многочастотный акустооптический модулятор [39]. Отметим также, что интегрированный высокочастотный цифровой дисплей с оптоэлектронным нейропроцессором [40,39] представляет собой идеальную среду для реализации MV и стохастического MV [6], как, впрочем, и основывающейся на них интерактивной вычислительной MISD–архитектуры [5:§2].

Как отмечалось в [6], интерактивная MISD–архитектура представляет интерес для ускорения обработки сенсорной информации в системах VR(AVR)–телекоммуникаций.
9. В настоящее время вторичный синтез объемных (3D) стереоизображений эффективно используется для генерации *обобщенного* (в том числе динамического интерактивного, например, "допплеровского", т.е. определяющего зависимость цвета элемента поверхности как от положения, так и от скорости наблюдателя) *освещения* (введение в методы генерации "стандартного" освещения содержится в книге [17]) в экспериментальной системе 3D стереоанимации "Māyā", разработанной в ЦМФИ "Таласса Этерия" (анонсирована на AIHENP'96). На несложном примере реализуемой посредством этой системы аномальной виртуальной реальности достаточно ясно раскрывается нетривиальность задач (если так можно выразиться, *математической феноменологии*) идентификации объектов (например, невидимых источников обобщенного освещения). Отметим также, что видеосистемы обобщенного освещения представляют универсальное средство для визуализации физических взаимодействий и процессов измерения (при этом вторичный синтез изображений решает визуализированную обратную задачу рассеяния).
10. Аналогом "корпускулярного" подхода в квантовой теории поля и решеточных моделях является анимация спрайтов в компьютерной графике, которая может использоваться при визуализации локализованных квазичастиц.

[1] *Юрьев Д.В.* // ТМФ. 1994. Т.98, но.2. С.220-240.
[2] *Юрьев Д.В.* // ТМФ. 1994. Т.101, но.3. С.331-348.
[3] *Манин Ю.И.*, Математика и физика. М., Знание, 1979.
[4] *Юрьев Д.В.* // ФПМ, в печати [preliminary e-version: hep-th/9401047 (1994)]; *Juriev D.*, Octonionic binocular mobilevision. An overview: Report RCMPI-95/05 (1995) [e-version: adap-org/9511002 (1995)].
[5] *Juriev D.*, Visualizing 2D quantum field theory: geometry and informatics of mobilevision: Report RCMPI-96/02 (1996) [e-version: hep-th/9401067+9404137 (1994)].
[6] *Юрьев Д.В.* // ТМФ. 1996. Т.106, но.2. С.333-352.
[7] *Юрьев Д.В.* // ТМФ. 1992. Т.92, но.1. С.172-176.
[8] *Saaty T.L.* // Lett.Appl.Math. 1988. V.1, no.2. P.79-82.
[9] *Visualized* flow. Ed.Y.Nakayama, Pergamon, Oxford, 1988; *Visualization* in human–computer interaction. Eds.P.Gorny and M.J.Taubes, Springer, 1990; *Scientific* visualization of physical phenomena. Ed.N.M.Patrikalakis, Springer, 1991; *Scientific* visualization: techniques and applications. Ed.K.W.Brodlie, Springer, 1992; *Focus* on scientific visualization. Eds.H.Hagen, H.Müller and G.M.Nielson, Springer, 1993; *Visualization* in scientific computing. Eds.M.Grave, Y.Le Lous and W.T.Hewitt, Springer, 1994.
[10] *Juriev D.* // Russian J.Math.Phys. 1995. V.3, no.4. P.453-460; Topics in nonhamiltonian (magnetic–type) interaction of classical Hamiltonian dynamical systems. II. Generalized Euler–Ampère equations and Biot–Savart operators: Report RCMPI-96/02 [e-version: mp_arc/95-538 (1995)]; *Юрьев Д.В.*// ТМФ. 1995. Т.105, но.1. С.18-28; ТМФ, в печати [e-version: q-alg/9511012 (1995)]; *Юрьев Д.В.* // ТМФ. 1996. Т.109, но.00. С.00-00; *Juriev D.*, Symmetric designs on Lie algebras and interactions of Hamiltonian systems: Preprint ESI 170 (1994) [e-version: solv-int/9503003 (1995)]; *Юрьев Д.В.* // Мат.заметки, в печати [preliminary e-version: mp_arc/95-519 (1995)]; *Juriev D.*// Russian J.Math.Phys., to appear [e-version: funct-an/9409003 (1994)]; On the dynamics of noncanonically coupled oscillators and its hidden superstructure: Preprint ESI 167 (1994) [e-version: solv-int/9503003 (1995)].
[11] *Юрьев Д.В.*, Классическая и квантовая динамика негамильтоново взаимодействующих гамильтоновых систем: Report RCMPI-96/03 (1996).
[12] *Де Альфаро В., Редже Т.*, Потенциальное рассеяние. М., Мир, 1966; *Ньютон Р.*, Теория рассеяния волн и частиц. М., Мир, 1969; *Рид М., Саймон Б.*, Методы современной математической физики. Т.3. Теория рассеяния. М., Мир, 1982; *Меркурьев С.П., Фаддеев Л.Д.*, Квантовая теория рассеяния для систем несколь-

ких частиц. М., Наука, 1985.

[13] *Сретенский Л.Н.*, Теория ньютоновского потенциала. М.-Л., 1946; *Прилепко А.И.* // Дифф. ур-ния. 1966. Т.2, но.1. С.107-124.

[14] *Юрьев Д.В.*, Экскурс в обратную задачу теории представлений: Report RCMPI-95/04 (1995) (см.также: *Juriev D.*// J.Math.Phys. 1994. V.35. P.5021-5024; *Juriev D.*, Topics in hidden symmetries: E-print, hep-th/9405050 (1994); *Юрьев Д.В.*// ФПМ, в печати [e-version: funct-an/9411007 (1994)]; ФПМ, в печати [e-version: funct-an/9507001 (1995)]).

[15] *Escher M.C.*, The graphic work of M.C.Escher. Ballantine, New York, 1971; *Penrose R.* // Struct.Topology. 1991. V.17. P.11-16.

[16] *Монж Г.*, Начертательная геометрия. М., Изд-во АН СССР, 1947; *Русскевич Н.Л.*, Начертательная геометрия, Киев, Будiвельник, 1970; *Бубенников А.В., Громов М.Я.*, Начертательная геометрия, М., Высшая школа, 1973.

[17] *Мартинес Ф.*, Синтез изображений. Принципы, аппаратное и программное обеспечение. М., Радио и связь, 1990.

[18] *Juriev D.* // The Visual Computer. 1994. V.11. no.2. P.113-120.

[19] *Juriev D.* // Lett.Math.Phys. 1991. V.21. P.113-115, V.22. P.141-144; *Юрьев Д.В.* // ТМФ. 1991. Т.86, но.3. С.338-343; Алгебра и анал. 1991. Т.3, но.3. С.197-205; *Juriev D.* // J.Math.Phys. 1992. V.33. P.492-496; Commun.Math.Phys. 1991. V.138. P.569-581, 1992. V.146. P.427; J.Funct.Anal. 1991. V.101. P.1-9; J.Math.Phys. 1991. V.32. P.2034-2038; *Юрьев Д.В.* // УМН. 1991. Т.46, но.4. С.115-138.

[20] *Juriev D.* // J.Math.Phys. 1992. V.33. P.3112-3116; *Юрьев Д.В.* // ТМФ. 1992. Т.93, но.1. С.32-38; *Juriev D.* // J.Math.Phys. 1992. V.33. P.1153-1157; P.2819-2822; 1993. V.34. P.1615; 1994. V.35. P.3368-3379; *Бычков С.А., Юрьев Д.В.*// УМН. Т.46, но.5. С.161-162; *Бычков С.А.* // УМН. Т.47, но.4. С.187-188; *Бычков С.А., Плотников С.В., Юрьев Д.В.* // УМН. 1993. Т.48, но.3. С.153; *Бычков С.А., Юрьев Д.В.* // ТМФ. 1993. Т.97, но.3. С.336-347.

[21] *Jacob R.J.K.* // ACM Trans. on Inform. Systems. V.11. April 1993. P.152-169; Advances in Human–Computer Interaction. V.4. Eds. H.R.Harston and D.Hix. Norwood, NJ, Ablex Publ. Co. 1993. P.151-190; Human–Machine Communication for Education Systems Design. Eds. M.D.Brouwer-Jause and T.L.Harrington (NATO ASI Series. F: Computer and Systems Sciences. V.129) Springer, 1994, P.131-138.

[22] *Движения* глаз и зрительное восприятие. II. Исследование механизмов регуляции движений глаз в условиях трансформации зрительной обратной связи. М., Наука, 1978. С.71-170; *Барабанщиков В.А., Белопольский В.И., Вергилес Н.Ю.* // Психол.журн. 1980. Т.1, но.3. С.85-94; *Барабанщиков В.А.*, Динамика зрительного восприятия. М., Наука, 1990; *Барабанщиков В.А.* // Психол.журн. 1995. Т.16, но.5. С.67-86.

[23] *Lenz R.*, Group theoretical methods in image processing. Springer, 1990. *Kanatani K.I.*, Group theoretical methods in image understanding. Springer, 1991.

[24] *Барут А., Рончка Р.*, Теория представлений групп и ее приложения. М., Наука, 1980; *Базь А.И., Зельдович Я.Б., Переломов А.М.*, Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике. М., Наука, 1971; *Малкин И.А., Манько В.И.*, Динамические симметрии и когерентные состояния квантовых систем. М., Наука, 1979; *Переломов А.М.*, Обобщенные когерентные состояния и их применение. М., Наука, 1987; *Желобенко Д.П.*, Представления редуктивных алгебр Ли. М., Наука, 1994; *Symmetries* in science. VII. Spectrum–generating algebras and dynamic symmetries in physics. Eds.B.Gruber, T.Otsake, Plenum Publ., 1995.

[25] *Климык А.У.*, Матричные элементы и коэффициенты Клебша–Гордана представлений групп. М., Наука, 1979.

[26] *Ковалев О.В.*, Неприводимые и индуцированные представления и копредставления федоровских групп. М., Наука, 1986.

[27] *Николаев П.П.* // Сенсорные системы. 1990. Т.4, но.4. С.421-442, 1991. Т.5, но.1. С.89-104, но.2. С.85-98, но.3. С.70-80; *Computer* vision. Proceedings ECCV-90, Springer, 1990; *Николаев П.П.* // Сенсорные системы. 1995. Т.9, но.2-3. С.109-131; *Рожкова Г.И., Подугольникова Т.А., Сисенгалиева Г.Ж., Матвеев С.Г.* // Сен-

сорные системы. 1996. Т.10, но.1. С.46-76.

[28] *Batchelor B., Waltz F.*, Interactive image processing for machine vision. Springer, 1993.

[29] *Rheingold H.*, Virtual reality. Summit, New York, Tokyo, 1991; *Virtual* reality: an interantional directory of research projects. Ed.J.Thompson. Meckler, Westport, 1993; *Virtual* reality: applications and explorations. Ed.A.Wexelblat. Acad.Publ., Boston, 1993; *Kalawsky R.S.*, The science of virtual reality and virtual environments. Addison–Wesley, 1993; *Форман Н., Вильсон П.* // Психол.журн. 1996. Т.17, но.2. С.64-79.

[30] *Wiesner S.* // SIGACT News. 1983. V.15, no.1. P.78-88; *Wiedemann D.* // SIGACT News. 1989. V.18, no.2. P.28-30; *Bennett C.H., Brassard G.* // SIGACT News. 1989. V.20, no.2. P.78-82; *Ekert A.K.* // Phys.Rev.Lett. 1991. V.67. P.661-663; *Bennett C.H., Brassard G., Mermin N.D.* // Phys.Rev.Lett. 1992. V.68. P.557-559; *Bennett C.H.* // Phys.Rev.Lett. 1992. V.68. P.3121-3124; *Bennett C.H., Wiesner S.J.* // Phys. Rev. Lett. 1992. V.69. P.2881-2884; *Bennett C.H., Brassard G., Crépeau C., Jozsa R., Peres A., Wootters W.K.* // Phys.Rev.Lett. 1993. V.70. P.1895-1899.

[31] *Белавкин В.П.* // Автоматика и телемеханика. 1983. Т.44, но.2. С.50-63; *Авдошин С.М., Белов В.В., Маслов В.П.* // УМН. Т.39, но.4. С.108-109; *Авдошин С.М., Белов В.В., Маслов В.П.*, Математические аспекты синтеза вычислительных сред. М., Изд-во МИЭМ, 1984; *Колокольцов В.Н., Маслов В.П.* // Функц. анализ и его прилож. 1989. Т.23, но.1. С.1-14, но.4. С.53-62; *Колокольцов В.Н.* // ДАН СССР. 1992. Т.323, но.2. С.223-228; *Idempotent* analysis. Eds.V.P.Maslov and S.N.Samborskii. Adv.Soviet Math.15, Amer. Math. Soc., R.I., 1992; *Маслов В.П., Колокольцов В.Н.*, Идемпотентный анализ и его применение в оптимальном управлении. М., Наука, 1994.

[32] *Juriev D.*// Lett.Math.Phys. 1991. V.22. P.1-6; 1990. V.19. P.59-64; 1990. V.19. P.355-356; 1991. V.22. P.11-14; *Juriev D.*// Alg.Groups Geom. 1994. V.11. P.145-179; Russian J.Math.Phys. 1996. V.4, no.3; J.Geom.Phys. 1995. V.16. P.275-300.

[33] *Кириллов А.А.*// Функц.анал.и его прилож. 1987. Т.21, но.2. С.42-45; *Кириллов А.А., Юрьев Д.В.*// Функц.анал.и его прилож. 1986. Т.20, но.4. С.79-80; 1987. Т.21, но.4. С.35-46; *Kirillov A.A., Yuriev D.V.*// J.Geom.Phys. 1988. V.5. P.351-363; *Юрьев Д.В.*// УМН. 1988. Т.43, но.2. С.159-160; *Juriev D.V.*// Russian J.Math.Phys. 1994. V.2. P.111-121; *Юрьев Д.В.*// Алгебра и анал. 1990. Т.2, но.2. С.209-226; *Juriev D.*// Adv.Soviet Math. 1991. V.2. P.233-247.

[34] *Леонов Ю.П.* / Проблемы цвета в психологии. М., Наука, 1993, С.54-67; Психол.журн. 1995. Т.16, но.2. С.133-141.

[35] *Лей Р., "Уэйт–Груп"*, Написание драйверов для MS-DOS. М., Мир, 1995; *Уилтон Р.*, Видеосистемы персональных компьютеров IBM PC и PS/2. М., Радио и связь, 1994; *Фролов А.В., Фролов Г.В.*, Программирование видеоадапторов CGA, EGA и VGA. БСП-3. М., Диалог-МИФИ, 1994.

[36] *Foley J.D., van Dam A., Feiner S.K., Hughes J.F.*, Computer graphics: Principles and practice. Addison–Wesley Publ., 1990; *Heiny L.*, Windows graphics programming with Borland C++. Wiley, 1992.

[37] *Оуэн Г.*, Теория игр. М., 1971; *Айзекс Р.*, Дифференциальные игры. М., Мир, 1960; *Воробьев Н.Н.*, Теория игр. Л., 1985.

[38] *Славнов Д.А.* // ТМФ. 1996. Т.106, но.2. С.264-272.

[39] *Евтихиев Н.Н., Оныкий Б.Н., Перепелица В.В., Щербаков И.Б.*// Нейрокомпьютер. 1994. вып.1/2. С.23-30; вып.3/4. С.51-58.

[40] *Морозов В.Н.*, Оптоэлектронные матричные процессоры. М., Радио и связь, 1986; *Уоссермен Ф.*, Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика. М., Мир, 1992.

Центр математической физики и информатики "Таласса Этерия"
E-mail address: denis@juriev.msk.ru