Ассоциативные заблуждения и проблема их преодоления

Ю.А. Рылов

Институт проблем механики РАН,
Россия, 117526, Москва, пр. Вернадского 101-1,
email: rylov@ipmnet.ru
Web site: $http://rsfq1.physics.sunysb.edu/\tilde{\ }rylov/yrylov.htm$
or mirror Web site: $http://194.190.131.172/\tilde{\ }rylov/yrylov.htm$

Аннотация

Исследуется влияние ассоциативных заблуждений (АЗ) на развитие физики и математики. Под ассоциативным заблуждением (АЗ) понимается ошибка, возникающая из-за неправильных ассоциаций, когда свойство одного объекта приписывается другому объекту. Примерами древнейших АЗ являются: (1) связь направления силы земного тяготения с выделенным направлением в пространстве (вместо направления к центру Земли), что приводило к "парадоксу антиподов", (2) утверждение, что центром планетарной системы является Земля (вместо Солнца), что приводило к доктрине Птолемея. К настоящему времени эти АЗ благополучно преодолены. В работе рассматриваются четыре современных и пока еще непреодоленных АЗ, следствием которых являются неправильная геометрия пространства-времени в микромире и большинство трудностей и проблем квантовой теории поля (КТП). Показывается, что АЗ обладают рядом интересных свойств: (1) они оказываются долго живущими заблуждениями из-за того, что происходит их частичная компенсация за счет создания компенсирующих (птолемеевых) концепций, (2) они влияют на научные исследования, порождая особый прагматический стиль (П-стиль) исследований, напоминающий экспериментальный метод проб и ошибок, (3) воздействуя на исследования непосредственно и через П-стиль, АЗ направляют развитие науки по тупиковому пути. В работе рассматриваются конкретные особенности современных АЗ и способы их преодоления. С прикладной точки зрения работа представляет собой анализ ошибок в развитии квантовой теории. Анализируются причины этих ошибок и предлагается способ их исправления.

Не было гвоздя – подкова пропала.
Не было подковы – лошадь захромала.
Лошадь захромала – командир убит.
Конница разбита, армия бежит.
Враг вступает в город, пленных не щадя, –
Оттого, что в кузнице не было гвоздя!
(С.Я. Маршак)

1 Введение

Настоящая работа посвящена изучению ассоциативных заблуждений, их роли в развитии естествознания и проблемам их преодоления. Под ассоциативным заблуждением понимается ситуация, когда ассоциативные свойства мышления срабатывают неправильно и природному явлению приписываются чуждые ему свойства. Обычно это происходит так, что одному физическому явлению приписываются свойства другого физического явления или же свойства описания физического явления приписываются самому физическому явлению. Поясним это на простом примере, который сейчас воспринимается как гротеск.

Известно, что древние египтяне считали, что все реки текут на север. Это заблуждение в наше время представляется абсурдным, однако много лет назад оно имело веские основания. Древние египтяне жили на обширной равнине и знали только одну реку – Нил, которая всюду текла точно на север и не имела притоков на территории Египта. Для жрецов древнего Египта, которые вели регулярные наблюдения за движением небесных светил, направление на север было выделенным пространственным направлением – это было направление на неподвижную Полярную звезду. Они не связывали направление течения реки с уклоном местности, как это делаем мы теперь. Им представлялось гораздо более простым и понятным связать направление течения реки с выделенным направлением в пространстве. Со временем, когда были открыты другие реки, текущие не на север, египтяне разобрались с проблемой, в каком направлении текут реки. Нам же интересен здесь вопрос, какую ошибку совершали древние египтяне, полагая, что все реки текут на север, и как они могли преодолеть это заблуждение.

Это заблуждение не было логической ошибкой, так как логика здесь не при чем. Заблуждение было связано с ассоциативным свойством человеческого мышления, когда свойство P приписывается объекту O на том основании, что во всех известных случаях свойство P сопровождает объект O. Такая ассоциация может быть как правильной, так и ошибочной. Если она ошибочна, как в рассмотренном случае, то обнаружить ошибку бывает очень непросто. Во всяком случае это трудно сделать логическим путем, так как подобные ассоциации возникают до логического анализа, и последующий логический анализ производится уже на базе подобных ассоциаций. Представим себе, что древнеегипетский ученый во время путешествия достиг ближайшей к Египту реки Тигр. Он с удивлением обнаруживает поток воды, текущий, во-первых, не по прямой и, во-вторых, не на север. Обнаружит ли он свое заблуждение? Скорее всего нет. Во всяком случае не сразу. Он подумает, что протекающий перед ним мощный поток воды не является рекой. Основанием для этого будет его изначальное убеждение, что "настоящая" река обязательно должна течь, во-первых, по прямой, а во-вторых, на север. Кроме того значение Нила в жизни древних египтян было очень велико, и они были склонны обожествлять Нил. Заблуждение относительно направления течения рек будет преодолено только после того, как будет обнаружено достаточно много различных рек, текущих в самых разных направлениях и будет произведен надлежащий анализ этого обстоятельства. Таким образом, для преодоления ассоциативного заблуждения иногда бывает недостаточно предъявления другого объекта O, не обладающего свойством P, поскольку могут возникнуть сомнения, действительно ли предъявленный объект следует классифицировать как объект O. Возможны и другие привходящие обстоятельства.

Если установившаяся ассоциация между объектом и его свойствами ошибочна, то можно говорить об ассоциативном заблуждении, или даже об ассоциативном предубеждении, поскольку заблуждение возникает на очень ранней ступени исследования, практически до того, как мы к нему приступаем. Обычный способ преодоления ассоциативных заблуждений – это рассмотрение более широкого круга явлений, в которых установленная ассоциация между свойством P и объектом O может оказаться нарушенной, и ассоциативное заблуждение обнаруживается.

В настоящей работе обсуждаются ассоциативные заблуждения в естественных науках и главным образом в физике. Для ассоциативных заблуждений характерно то, что они очень устойчивы и, когда они установились, их бывает трудно преодолеть, поскольку их трудно опровергнуть логически. Однако, дело не только в этом. Обычная ошибка легко преодолевается научным сообществом, как только она будет преодолена одним из членов сообщества. Соответствующая научная работа публикуется, научное сообщество принимает ее к сведению, и ошибка считается исправленной.

С ассоциативными заблуждениями дело обстоит иначе. Обнаружение ассоциативного заблуждения (АЗ) и публикация соответствующей работы не приводит к признанию АЗ заблуждением. Научное сообщество продолжает настаивать на том, что на самом деле рассматриваемое в работе АЗ не является ошибкой, а ошибается сам автор работы. Начинается затяжной спор, приводящий в некоторых случаях к конфликту. В конце концов истина торжествует, но путь к этому торжеству оказывается иногда долгим и трудным.

По-видимому, причина устойчивости АЗ лежит в очевидности и привычности тех утверждений, которые впоследствии оказываются ассоциативными заблуждениями. На основе этих утверждений создаются научные концепции, подтверждаемые опытом и наблюдениями. Объявление этих привычных утверждений заблуждениями приводит к разрушению существующей научной концепции и созданию новой концепции. Это всегда трудно и болезнено для научного сообщества.

В истории науки известен ряд ассоциативных заблуждений. Перечислим известные нам ассоциативные заблуждения в хронологическом порядке:

АЗ.1. Парадокс антиподов, обусловленный тем, что направление силы тяжести связывалось с выделенным направлением в пространстве, а не с направлением к центру Земли.

АЗ.2. Доктрина Птолемея в небесной механике, где свойство быть центром "вселенной" приписывалось Земле, тогда как таким центром являлось Солнце.

АЗ.3. Предубеждения против римановой геометрии во второй половине XIX века, связанные с тем, что декартова система координат рассматривалась как атрибут любой геометрии, тогда как она являлась всего лишь способом описания евклидовой геометрии.

АЗ.4. Невозможность использования чисто метрической концепции геометрии, связанная с тем ассоциативным заблуждением, что понятие кривой считалось фундаментальным понятием любой геометрии, тогда как кривая является всего лишь геометрическим объектом, используемым в евклидовой и римановой геометриях.

АЗ.5. Невозможность создания динамической концепции статистического описания (ДКСО), связанная с тем ассоциативным заблуждением, когда считалось, что всякое статистическое описание производится в терминах теории вероятностей, и понятие вероятности является фундаментальным понятием любого статистического описания.

АЗ.6. Отождествление индивидуальной частицы $\mathcal{S}$ со среднестатистической частицей $\langle\mathcal{S}\rangle$, используемое при традиционной интерпретации измерения в квантовой механики. Такое отождествление представляет собой разновидность ассоциативного заблуждения, когда свойства индивидуальной частицы $\mathcal{S}$ приписываются среднестатистической частице $\langle\mathcal{S}\rangle$ и наоборот. Парадокс кота Шредингера и другие парадоксы в квантовой механике, связанные с редукцией волновой функции, являются следствием этого отождествления.

АЗ.7. Принудительное отождествление энергии с гамильтонианом, используемое в релятивистской квантовой теории поля при вторичном квантовании, также является ассоциативным заблуждением. Как и любое другое ассоциативное заблуждение это отождествление связано с приписыванием одному объекту свойств другого объекта. В данном случае совпадение энергии и гамильтониана для свободной нерелятивистской частицы рассматривается как фундаментальное свойство любой частицы и приписывается любой релятивистской частице без достаточных к тому оснований. Мы будем изображать это заблуждение символически посредством $E = H$, где E есть энергия, а H – гамильтониан.

Первые три из семи перечисленных ассоциативных заблуждений (АЗ.1 – АЗ.3) были преодолены уже к началу XX века, хотя, быть может, подробный анализ этих преодолений отсутствует в литературе. Что касается АЗ.4 – АЗ.7, то научному сообществу еще только предстоит преодолеть их. Кроме того эти АЗ существуют одновременно, и порядок их расположения соответствует скорее их важности, чем хронологии.

Чисто метрическая концепция геометрии, где вся информация о геометрии задается расстоянием для любой пары точек пространства, является наиболее общей концепцией геометрии, порождающей наиболее полный список геометрий, пригодных для описания пространства-времени. АЗ.4 дискриминирует чисто метрическую концепцию геометрии. В результате вместо нее используется риманова концепция геометрии, порождающая менее полный список возможных геометрий. Истинная геометрия пространства-времени отсутствует в этом списке, и для описания пространства-времени мы обречены пользоваться геометрией Минковского, которая является неправильной (неточной) геометрией на малых пространственно-временны́х масштабах, т.е. в микромире. В истинной геометрии пространства-времени движение микрочастиц изначально стохастическое, и причиной стохастичности являются свойства геометрии. В геометрии Минковского движение любой частицы детерминированное, и в этом заключается неправильность (неточность) геометрии Минковского.

АЗ.5 приводит к невозможности построения последовательного статистического описания случайного движения микрочастиц (электронов, позитронов и т.п.), хотя нет сомнений в том, что квантовая механика, описывающая регулярную составляющую этого движения, является статистической теорией. АЗ.4 и АЗ.5 создают такую ситуацию, когда для правильного описания наблюдаемых квантовых явлений приходится использовать серию дополнительных гипотез (принципов квантовой механики). Это вполне аналогично тому, как Птолемей использовал серию дополнительных построений (эпициклы и диференты) для объяснения наблюдаемого движения небесных тел. Они были нужны для компенсации АЗ.2. Преодоление АЗ.4 и АЗ.5 позволяет отказаться от принципов квантовой механики и построить теорию квантовых явлений как последовательное статистическое описание стохастического движения микрочастиц, причем стохастичность движения микрочастиц имеет геометрическую природу, т.е. порождается геометрией пространства-времени. Последовательное статистическое описание движения микрочастиц появляется в результате построения динамической концепции статистического описания (ДКСО), что становится возможным после преодоления АЗ.5. Ситуация с отторжением принципов квантовой механики после преодоления АЗ.4 и АЗ.5 напоминает ситуацию отбрасывания птолемеевых эпициклов, необходимость в которых отпадает после преодоления АЗ.2 и перехода от доктрины Птолемея к доктрине Коперника.

АЗ.6 не имеет такого глобального характера как АЗ.4 и АЗ.5. Оно касается главным образом интерпретации понятия измерения в квантовой механике.

АЗ.7 тоже не имеет глобального характера. Оно действует в рамках релятивистской квантовой теории, которая сама является разделом птолемеевой концепции, т.е. концепции использующей дополнительные гипотезы (принципы квантовой механики), компенсирующие неправильный выбор модели пространства-времени. АЗ.7 (отождествление энергии и гамильтониана $E = H$) порождает целый ряд трудностей в квантовой теории поля (нестационарный вакуум, необходимость использовать теорию возмущений и некоторые другие). На самом деле, нет никакой необходимости в отождествлении энергии и гамильтониана $E = H$, и вторичное квантование можно осуществить, не налагая этого условия [1, 2]. Условие $E = H$ оказывается несовместным с динамическими уравнениями, и его наложение делает квантовую теорию поля непоследовательной (внутренне противоречивой). С одной стороны, такая непоследовательность приводит к упомянутым выше трудностям, а с другой – к возможности объяснения эффекта рождения пар, поскольку непоследовательная теория позволяет объяснить все, что угодно. Нужно только проявить достаточно изобретательности.

Отказ от условия $E = H$ приводит с одной стороны к теории, последовательной в рамках квантовой теории и свободной от упомянутых выше трудностей, но с другой стороны это приводит к тому, что в теории отсутствует описание эффекта рождения пар. Этот прискорбный факт означает только то, что предпринятая попытка построения релятивистской квантовой теории на основе объединения принципов теории относительности с принципами нерелятивистской квантовой механики не удалась, и следует поискать альтернативный вариант.

Примем во внимание, что квантовая механика представляет собой компенсирующую (птолемееву) концепцию, т.е. принципы квантовой механики придуманы для компенсации АЗ.4 и АЗ.5, подобно тому как птолемеевы эпициклы придуманы для компенсации АЗ.2. Тогда пытаться объединить принципы квантовой механики с принципами теории относительности столь же бесполезно, как пытаться внедрить птолемеевы эпициклы в механику Ньютона.

По-видимому, в качестве альтернативного варианта разумно рассматривать концепцию, возникающую после преодоления АЗ.4 и АЗ.5. Такая концепция является последовательно релятивистской и квантовой (в том смысле, что она содержит квантовую постоянную $\hbar$, явно входящую в метрику пространства-времени). Она не содержит принципов квантовой механики, и нет необходимости объединять их с принципами теории относительности. Мы будем называть эту концепцию модельной концепцией квантовых явлений, отличая ее от традиционной квантовой механики, которую будем называть аксиоматической концепцией квантовых явлений. Различие между аксиоматической и модельной концепциями примерно такое же как между термодинамикой и статистической физикой. Термодинамику можно квалифицировать как аксиоматическую концепцию тепловых явлений, а статистическую физику – как модельную концепцию тепловых явлений. Переход от аксиоматической концепциии к модельной был осуществлен после того как была построена модель теплорода (хаотическое движение молекул) и отпала необходимость в аксиомах термодинамики, описывающих свойства фундаментального объекта термодинамики – теплорода. В статистической физике понятие теплорода обычно не используется, но если его все же ввести, то свойства его будут определяться из его модели (хаотического движения молекул).

Нечто аналогичное имеет место во взаимоотношениях между аксиоматической и модельной концепциями квантовых явлений. В аксиоматической концепции имеется фундаменальный объект, называемый волновой функцией. Его свойства определяются принципами квантовой механики. Волновая функция есть то, что отличает квантовую механику от классической, где волновой функции нет. В модельной концепции квантовых явлений строится "модель волновой функции" [4]. После этого свойства волновой функции получаются из этой модели, и необходимость в принципах квантовой механики отпадает. Аксиоматическая и модельная концепции приводят к одному и тому же результату в нерелятивистском случае, однако в релятивистском случае результаты, вообще говоря, различны. Например, применение модельной концепции к исследованию динамической системы $\mathcal{S}_{\mathrm{D}}$, описываемой уравнением Дирака, приводит к другому результату [3], чем исследование, произведенное традиционными методами в рамках аксиоматической концепции. В первом случае классическим аналогом дираковской частицы $\mathcal{S}_{\mathrm{D}}$ является релятивистский ротатор, состоящий из двух заряженных частиц, вращающихся вокруг общего центра инерции, а во втором – точечная частица со спином и магнитным моментом.

Наличие ассоциативного заблуждения не позволяет построить полноценную научную концепцию. Построенная концепция оказывается компенсирующей (птолемеевой) концепцией, в которой неправильное положение компенсируется с помощью дополнительных предположений. Строго говоря, птолемеева концепция не является истинной. Однако, существуют такие области ее применения, где ее использование дает правильные результаты и не приводит к противоречиям с наблюдениями и экспериментом. Например, с помощью доктрины Птолемея можно так подобрать эпициклы и дифференты для каждой отдельной планеты, что можно будет точно рассчитать ее движение за достаточно длительный период. При этом предсказания совпадали с наблюдениями. Однако, существует класс задач небесной механики, которые нельзя решить в рамках доктрины Птолемея. Например, в рамках доктрины Птолемея нельзя решить такую задачу: когда и с какой скоростью нужно бросить камень с поверхности Земли, чтобы он упал на Луну. В рамках доктрины Птолемея нельзя открыть закон всемирного тяготения и построить механику Ньютона. Ассоциативное заблуждение, заложенное в основание доктрины Птолемея и замаскированное с помощью компенсирующих гипотез, мешало прогрессу небесной механики. Поскольку в то время небесная механика была единственной точной естественной наукой, то оно мешало нормальному развитию естественных наук, вообще. Развитие естественных наук шло по тупиковому пути. После преодоления АЗ.2 развитие естественных наук резко ускорилось.

Аналогичная ситуация с квантовой механикой. Хотя при первом знакомстве квантовая механика производит впечатление бессистемного сборника правил для вычисления математических ожиданий, тем не менее использование этих правил в нерелятивистском случае приводит к результатам, которые находят экспериментальное подтверждение. Если принять принципы квантовой механики, то нерелятивистская квантовая механика в целом представляет собой последовательную концепцию, прекрасно описывающую широкий круг физических явлений. Однако, при переходе в область релятивистских явлений (рождение пар, теория элементарных частиц) квантовых принципов становится недостаточно. Приходится вводить новые предположения. Чем дальше углубляется квантовая теория в область релятивистских явлений, тем больше новых предположений приходится вводить для описания наблюдаемых явлений. Все это косвенные признаки того, что традиционный путь развития квантовой теории ведет в тупик.

Предметом данной работы является исследование возможных способов преодоления ассоциативных заблуждений. С одной стороны, преодоление каждого конкретного ассоциативного заблуждения требует знания предмета и профессионального подхода к исследованию явления. С другой стороны птолемеевы концепции обладают некоторыми общими свойствами, и постоянная работа с ними имеет некоторую специфику, которую полезно знать, если мы желаем эффективно преодолеть существующие ассоциативные заблуждения.

Во-первых, ассоциативное заблуждение очень трудно обнаружить. Косвенные признаки ассоциативного заблуждения – все возрастающая запутанность теории и необходимость добавления новых предположений. Эти признаки указывают на существование ассоциативного заблуждения, но не позволяют определить, в чем оно состоит.

Во-вторых, работа с птолемеевыми концепциями, т.е. концепциями содержащими ассоциативные заблуждения, вырабатывает особый прагматичный стиль работы (П-стиль). П-стиль состоит в том, что перебираются все возможные способы объяснения или расчета исследуемого явления. Разумеется, различные варианты, рассматриваемые при таком подходе, ограничены существующим математическим формализмом и возможностями воображения исследователя, но эти ограничения существенно меньше, чем те ограничения, которые накладывает классический стиль исследований (К-стиль). Под классическим стилем (К-стилем) мы понимаем стиль научных исследований, выработанный в естественных науках к концу XIX века.

Непредубежденный читатель легко согласится с тем, что уже преодоленные заблуждения АЗ.1 – АЗ.3 действительно являются заблуждениями и что их действительно следовало преодолеть. Однако, очень сомнительно, чтобы он сразу согласился с тем, что АЗ.4 – АЗ.7 тоже являются заблуждениями, которые должны быть преодолены. Если бы это было так, то АЗ.4 – АЗ.7 были бы уже давно преодолены. Конечно, ассоциативные заблуждения нежелательны, как и всякие другие заблужения. Их следует устранять, если это возможно. Однако, не следует относиться к ним как к недоразумениям или проявлениям глупости исследователей. Ассоциативные заблуждения являются неизбежными спутниками процесса познания, поскольку они обусловлены ограниченностью круга исследуемых явлений на начальном этапе исследований. Они были в прошлом, есть сейчас и, видимо, будут в будущем. Следует научиться с ними жить и проводить исследования, подобно тому как мы учимся передавать информацию при наличии помех, сознавая, что помехи нежелательны, что их надо устранять, но они, увы, не могут быть устранены полностью.

Следует изучать ассоциативные заблуждения, их свойства и то влияние, которое они оказывают на стиль мышления и работы исследователей, вынужденных проводить исследования в условиях существования ассоциативных заблуждений. Исследование особенностей ассоциативных заблуждений с целью их преодоления является целью данной работы. Мы начнем с того, что детально изучим АЗ.4 – АЗ.7, чтобы, во-первых, убедиться, что это действительно заблуждения, во-вторых, чтобы выделить их общие черты и понять, как лучше их преодолевать. Это очень важно, потому что опыт преодоления АЗ.2 (доктрины Птолемея) показывает, что процесс преодоления бывает очень трудным и болезненым. Обычно связывают эти трудности с негативной ролью католической церкви. Б.В. Раушенбах [5], полагает, что дело здесь не в позиции католической церкви, которая была некомпетентна в этом вопросе и просто присоединялась к мнению большинства тогдашних ученых. Большинство тогдашних ученых были священниками и, по мнению Б.В. Раушенбаха, католическая церковь была для них просто инструментом для борьбы со своими оппонентами – сторонниками доктрины Коперника. Если судить по тем проблемам, с которыми столкнулся автор при попытках преодоления АЗ.4 – АЗ.7, прав именно Б.В. Раушенбах.

В разделах 2 – 5 рассматриваются особенности АЗ.4 – АЗ.7. В шестом разделе рассматривается влияние ассоциативных заблуждений на стиль научных исследований. В разделах с седьмого по двенадцатый излагаются детали истории преодоления АЗ.4 – АЗ.7 в том виде, в каком их увидел автор статьи.

2 Концепция геометрии и выбор правильной геометрии пространства-времени как результат преодоления АЗ.4.

Под концепцией геометрии (КГ) понимается способ (набор правил), с помощью которого строится геометрия. Собственно евклидова геометрия[1] может быть построена на основе разных концепций геометрии. Например, можно использовать аксиоматическую концепцию Евклида (евклидовы аксиомы), можно использовать риманову концепцию геометрии (размерность, многообразие, метрический тензор, кривая), можно использовать тополого-метрическую концепцию (топологическое пространство, метрика, кривая). В любом случае мы получаем одну и ту же собственно евклидову геометрию, и с точки зрения этой геометрии не имеет значения какую из возможных концепций мы использовали для построения собственно евклидовой геометрии.

[1]Мы используем термин "евклидова геометрия" как собирательное понятие по отношению к терминам "собственно евклидова геометрия" и "псевдоевклидова геометрия". В первом случае собственные значения матрицы метрического тензора имеют одинаковые знаки, а во втором – они разных знаков. То же самое взаимоотношение между терминами "риманова геометрия", "собственно риманова геометрия" и "псевдориманова геометрия".

Однако, если мы собираемся выбирать геометрию для реального пространства-времени, то очень важно, чтобы список всех возможных геометрий, пригодных для описания пространства-времени был полным. Если истинная геометрия пространства-времени будет отсутствовать в этом списке, то мы обречены на выбор неправильной геометрии, каким бы способом мы ни выбирали геометрию пространства-времени. Таким образом, определение списка всех возможных геометрий является необходимым условием правильного выбора геометрии пространства-времени. В свою очередь определение списка возможных геометрий зависит от того, какая концепция геометрии (КГ) используется для определения списка возможных геометрий. Каждая из возможных КГ содержит информацию двух типов: (1) нечисловую информацию в виде понятий, аксиом и предложений, формулируемых словесно, и (2) числовую информацию в виде чисел и числовых функций от точек пространства. В разных КГ эта информация представлена различно.

название КГ	*нечисловая информация*	*числовая информация*
Евклидова КГ	аксиомы Евклида	$\emptyset$
Риманова КГ	многообразие, кривая система координат	$n, \quad g_{ik}(x)$
тополого-метрическая КГ	тополог. пространство, кривая	$\rho(P,Q) \geq 0,$ $\rho(P,Q) = 0, \quad \text{iff} \quad P = Q$ $\rho(P,Q) + \rho(Q,R) \geq \rho(P,R)$
чисто метрическая КГ	$\emptyset$	$\sigma(P,Q) = \frac{1}{2}\rho^2(P,Q) \in \mathbb{R}$

Варьируя числовую информацию при неизменной нечисловой информации, мы получаем различные геометрии в рамках одной и той же концепции геометрии. Непрерывно изменяя числа и функции, составляющие числовую информацию КГ, мы получаем непрерывный ряд геометрий, каждая из которых мало отличается от соседней. При этом любому допустимому значению числовой информации соответствует определенная геометрия в рамках данной КГ. Можно менять и нечисловую информацию, заменяя, например, одну аксиому на другую. Однако, при этом, во-первых, геометрии меняются скачкообразно, а во-вторых, нужно следить, чтобы замена одной аксиомы на другую не приводила к внутренним противоречиям. Это сложно и неудобно. Гораздо проще при получении новых возможных геометрий оставаться в рамках одной и той же концепции, изменяя только числовую информацию.

Как видно из приведенной таблицы, разные КГ имеют разную мощность числовой информации, и порождают множества геометрий разной мощности. Евклидова концепция геометрии, вообще, не содержит числовой информации. Наоборот, чисто метрическая КГ содержит только числовую информацию и порождает наиболее общий класс геометрий, которые мы будем называть трубчатыми геометриями (или коротко Т-геометриями).

Т-геометрия имеет много привлекательных черт. Во-первых, она очень проста и реализует ту простую и привлекательную идею, что для задания геометрии на множестве Ω точек P достаточно задать расстояния $\rho(P,Q)$ между всеми парами точек P и Q множества Ω. Реально задание расстояний $\rho(P,Q)$ осуществляется заданием мировой функции $\sigma = \frac{1}{2}\rho^2$ на множестве $\Omega \times \Omega$. Несмотря на простоту и привлекательность сама возможность существования чисто метрической КГ долгое время была проблематичной. К. Менгер [6] и Дж.Л. Блюменталь [7] пытались построить так называемую дистантную геометрию, которая опиралась на понятие расстояния в бóльшей степени, чем это делается в тополого-метрической концепции. Однако, построить чисто метрическую КГ им не удалось. Причиной неудачи было существование АЗ.4. Решающим шагом была формулировка в терминах мировой функции σ необходимых и достаточных условий того, что геометрия, определяемая заданием на множестве $\Omega \times \Omega$ мировой функции σ, является евклидовой геометрией. Доказательство [8, 9, 10] того, что в терминах мировой функции σ можно построить евклидову геометрию, означало возможность построения в терминах σ любой Т-геометрии и, следовательно, существование чисто метрической КГ.

Вся информация о геометрии извлекается из мировой фукнции. В частности, если можно ввести размерность пространства $\{\Omega, \sigma\}$, то информацию о ней можно извлечь из мировой функции. Из нее можно извлечь информацию о непрерывности или дискретности пространства $\{\Omega, \sigma\}$, а в случае непрерывной Т-геометрии – информацию о системах координат и метрическом тензоре. В Т-геометрии имеется абсолютный параллелизм (которого, вообще говоря, нет в римановых геометриях). Сверх того в Т-геометрии появляется новое свойство геометрии – невырожденность.

Невырожденной называется геометрия, в которой имеется много векторов $\overrightarrow{P_0Q}$ с фиксированной длиной $|\overrightarrow{P_0Q}|$, параллельных вектору $\overrightarrow{P_0P_1}$. В вырожденной геометрии такой вектор $\overrightarrow{P_0Q}$ только один.

Невырожденность Т-геометрии можно представить себе следующим образом. Любая Т-геометрия может быть получена из евклидовой геометрии путем ее деформации (т.е. изменения расстояния $\rho(P,Q)$ между точками пространства). При такой деформации пространства геометрические объекты евклидовой геометрии меняют форму. Если Т-геометрия вырожденная, то евклидовы прямые деформируются в линии, вообще говоря, кривые. Однако, возможна такая деформация, что прямая n-мерного евклидова пространства преобразуется в $(n-1)$-мерную трубку, а не в одномерную кривую. Для того, чтобы это было возможно, прямая должна определяться как множество точек, обладающее некоторым свойством евклидовой прямой. Определение прямой как кривой, обладающей некоторым свойством прямой, автоматически запрещает деформацию евклидовой прямой в $(n-1)$-мерную трубку и дискриминирует невырожденные геометрии. При этом, если речь идет о невырожденной Т-геометрии пространства-времени, то движение свободных частиц в таком пространстве-времени оказывается стохастическим, хотя сама по себе геометрия, (т.е. мировая функция σ) не является случайной. Иначе говоря, невырожденность пространственно-временно́й геометрии порождает индетерминизм.

В римановой КГ деформация пространства, превращающая линию в трубку запрещена. Это связано с А3.4, согласно которому кривая является фундаментальным объектом геометрии, и не должно быть геометрий, где бы кривая заменялась поверхностью. Именно в этом пункте А3.4 дискриминирует чисто метрическую КГ и порожденные ей невырожденные Т-геометрии. Как следствие список возможных геометрий резко сокращается. Истинная геометрия пространства-времени выпадает из списка возможных геометрий, и для пространства-времени выбирается неправильная модель.

В настоящее время для получения геометрии пространства-времени используется риманова концепция геометрии. В простейшем случае, когда можно пренебречь влиянием гравитации, пространство-время является однородным, изотропным и плоским. В рамках римановой КГ существует только одна плоская, однородная и изотропная геометрия. Это – геометрия Минковского, для которой мировая функция имеет вид:

$$\sigma_{\mathrm{M}}\left(x,x'\right)=\sigma_{\mathrm{M}}\left(t,\mathbf{x},t',\mathbf{x}'\right)=\frac{1}{2}\left(c^{2}\left(t-t'\right)^{2}-\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right)^{2}\right) \qquad (2.1)$$

где c есть скорость света, а $x=\{t,\mathbf{x}\}$ и $x'=\{t',\mathbf{x}'\}$ суть координаты двух произвольных точек в пространстве событий.

Таким образом, в случае римановой КГ вопрос о выборе геометрии пространства-времени не стоит. Она получается однозначно.

Тополого-метрическую КГ нельзя применять к пространству-времени, поскольку она предполагает, что $\sigma\left(P,Q\right)=\frac{1}{2}\rho^{2}\left(P,Q\right)\geq 0$, тогда как в пространстве-времени. существуют пространственноподобные интервалы, для которых $\sigma\left(P,Q\right)<0$.

Чисто метрическая КГ дает целый класс плоских однородных и изотропных Т-геометрий, маркируемых функцией одного аргумента. В этом случае мировая функция имеет вид

$$\sigma\left(x,x'\right)=\sigma_{\mathrm{M}}\left(x,x'\right)+D\left(\sigma_{\mathrm{M}}\left(x,x'\right)\right), \qquad (2.2)$$

где σ_{M} есть мировая функция Минковского (2.1), а функция D есть произвольная функция, маркирующая возможные плоские однородные изотропные геометрии. Эти геометрии отличаются друг от друга формой трубок, получившихся в результате деформации евклидовой прямой и, следовательно, характером стохастичности движения свободных частиц. Для чисто метрической КГ вопрос о выборе геометрии пространства-времени стоит очень остро, поскольку однородных изотропных геометрий много. Положить в (2.2) $D\equiv 0$ и выбрать геометрию Минковского было бы неправильно, потому что в геометрии Минковского движение частиц детерминировано. Однако, хорошо известно, что движение реальных микрочастиц (электронов, позитронов и т.д.) является стохастическим. Иначе говоря, эксперименты с отдельными микрочастицами, вообще говоря, невоспроизводимы. Воспроизводимыми являются распределения результатов, т.е. результаты массовых экспериментов со многими одинаково приготовленными частицами. Эти распределения результатов описываются квантовой механикой, построенной на основе некоторых дополнительных гипотез, известных как принципы квантовой механики.

Когда имеются такие геометрии пространства-времени, где движение частиц является изначально стохастическим, нельзя признать разумным подход, когда сначала выбирается геометрия Минковского, где движение частиц детерминировано, а затем вводятся дополнительные предположения (принципы квантовой механики), обеспечивающие описание стохастического движения микрочастиц. Правильнее было бы попытаться так выбрать геометрию пространства-времени, чтобы статистическое описание стохастического движения микрочастиц правильно описывало проводимые эксперименты. Поскольку квантовая механика великолепно описывает все нерелятивистские эксперименты, то достаточно выбрать геометрию так, чтобы статистическое описание стохастического движения микрочастиц согласовывалось с предсказаниями квантовой механики.

На первый взгляд кажется, что объяснить квантовые эффекты особенностями геометрии нельзя, поскольку интенсивность квантовых эффектов существенно зависит от массы частицы, тогда как масса частицы является такой характеристикой частицы, которая никак не связана с геометрией. Поэтому кажется, что воздействие геометрии на движение частиц должно быть одинаковым для частиц любой массы. На самом деле, влияние геометрии не зависит от массы частицы только в вырожденной геометрии (геометрии Минковского). В пространстве-времени с невырожденной геометрией масса частицы так же как и ее импульс являются геометрическими характеристиками.

Мировая трубка частицы массы m задается ломаной мировой трубкой $\mathcal{T}_{\rm br}$, которая описывается последовательностью точек изломов $\{P_i\}$, $\quad i = \ldots 0, 1, 2, \ldots$, причем соседние точки P_i, P_{i+1} соединены между собой отрезком $\mathcal{T}_{[P_iP_{i+1}]}$ прямой, который определяется как множество точек R, с помощью соотношения

$$\mathcal{T}_{[P_iP_{i+1}]} = \{R | S(P_i, R) + S(R, P_{i+1}) = S(P_i, P_{i+1})\} \tag{2.3}$$

где $S(P_i, P_{i+1}) = \sqrt{2\sigma(P_i, P_{i+1})}$ есть расстояние между точками P_i и P_{i+1}. Множество точек $\{P_i\}$, $\quad i = 0, \pm1, \pm2, \ldots$ мы будем называть каркасом мировой трубки $\mathcal{T}_{\rm br}$. В собственно евклидовой геометрии, так же как и в геометрии Минковского (для времениподобного интервала $S^2(P_i, P_{i+1}) > 0$) множество точек (2.3) есть отрезок прямой линии, соединяющей точки P_i и P_{i+1}. В невырожденной геометрии множество $\mathcal{T}_{[P_iP_{i+1}]}$ образует трехмерную сигарообразную поверхность с концами в точках P_i и P_{i+1}.

Вектор $\overrightarrow{P_iP_{i+1}} = \{P_i, P_{i+1}\}$ интерпретируется как 4-импульс частицы на сегменте $\mathcal{T}_{[P_iP_{i+1}]}$ мировой трубки $\mathcal{T}_{\rm br}$ частицы

$$\mathcal{T}_{\rm br} = \bigcup_i \mathcal{T}_{[P_iP_{i+1}]}. \tag{2.4}$$

Длина $\left|\overrightarrow{P_iP_{i+1}}\right| = S(P_i, P_{i+1}) = \sqrt{2\sigma(P_i, P_{i+1})}$ вектора $\overrightarrow{P_iP_{i+1}}$ есть геометрическая масса μ частицы, т.е. масса, выраженная в единицах длины. Универсальная постоянная b связывает геометрическую массу μ с обычной массой m частицы.

$$m = b\mu = bS(P_i, P_{i+1}), \qquad i = 0, \pm 1, \pm 2, ... \qquad [b] = \mathrm{g/cm} \tag{2.5}$$

Все сегменты $\mathcal{T}_{[P_iP_{i+1}]}$ $i = 0, \pm 1, \pm 2, ...$ имеют одну и ту же длину $\mu = m/b$. Таким образом, вообще говоря, m есть геометрическая характеристика частицы, но в случае геометрии Минковского нельзя определить массу частицы по форме мировой линии, потому что нельзя определить точки P_i каркаса ломаной линии $\mathcal{T}_{\mathrm{br}}$ на основе формы мировой линии. В случае невырожденной пространственно-временно́й геометрии точки P_i каркаса являются концевыми точками сигарообразных сегментов $\mathcal{T}_{[P_iP_{i+1}]}$. Их можно определить по перетяжкам ломаной трубки (2.4). Интервал $S(P_i, P_{i+1})$ между соседними точками P_i каркаса определяет геометрическую массу μ частицы.

Для свободной частицы 4-импульсы $\overrightarrow{P_iP_{i+1}}$ и $\overrightarrow{P_{i+1}P_{i+2}}$ двух соседних сегментов $\mathcal{T}_{[P_iP_{i+1}]}$ и $\mathcal{T}_{[P_{i+1}P_{i+2}]}$ параллельны $\overrightarrow{P_iP_{i+1}} \uparrow\uparrow \overrightarrow{P_{i+1}P_{i+2}}$. В геометрии Минковского существует только один вектор $\overrightarrow{P_{i+1}P_{i+2}}$ длины μ, параллельный времениподобному вектору $\overrightarrow{P_iP_{i+1}}$. Следовательно, если вектор $\overrightarrow{P_0P_1}$ зафиксирован, то все остальные векторы $\overrightarrow{P_iP_{i+1}}$ $i = 1, 2, ...$ однозначно определяются. Другими словами, в геометрии Минковского вся мировая линия $\mathcal{T}_{\mathrm{br}}$ определяется однозначно, если фиксирован один из ее сегментов. Это означает, что движение свободной частицы в пространстве-времени с геометрией Минковского детерминировано.

В пространстве-времени с невырожденной геометрией имеется много векторов $\overrightarrow{P_{i+1}P_{i+2}}$ длины μ, параллельных времениподобному вектору $\overrightarrow{P_iP_{i+1}}$. Это означает, что конец P_{i+2} вектора $\overrightarrow{P_{i+1}P_{i+2}}$ не определяется однозначно, даже если вектор $\overrightarrow{P_iP_{i+1}}$ зафиксирован. Другие точки P_{i+3}, P_{i+4},... тоже не определяются однозначно. Это означает, что ломаная трубка $\mathcal{T}_{\mathrm{br}}$ является случайной. Таким образом, движение свободной частицы в пространстве-времени с невырожденной геометрией является стохастическим. Характер и величина стохастичности зависят от вида функции $D(\sigma_{\mathrm{M}})$ в соотношении (2.2).

Предполагая, что статистическое описание случайных мировых трубок дает тот же результат, что и квантово-механическое описание в терминах уравнением Шредингера, можно рассчитать вид функции дисторсии $D(\sigma_{\mathrm{M}})$. Расчет дает [11]

$$\begin{aligned} D &= D(\sigma_{\mathrm{M}}) = \begin{cases} d & \text{если} \quad \sigma_{\mathrm{M}} > \sigma_0 \\ 0 & \text{если} \quad \sigma_{\mathrm{M}} \leq 0 \end{cases} \\ d &= \frac{\hbar}{2bc} = \mathrm{const} \approx 10^{-21}\mathrm{cm}, \qquad \sigma_0 = \mathrm{const} \approx d \end{aligned} \tag{2.6}$$

Здесь $\hbar$ есть квантовая постоянная, а $b \approx 10^{-17}$г/см – новая универсальная постоянная. В интервале $(0, \sigma_0)$ значения функции $D(\sigma_{\mathrm{M}})$ пока не определены.

С трехмерной точки зрения микрочастица представляет собой пульсирующую трехмерную сферу. Период T пульсаций зависит от массы m частицы и определяется соотношением $T = m/(bc)$, где b есть универсальная постоянная. Максимальный радиус сферы $R_{\max} \approx \sqrt{d}$ не зависит от массы частицы. Приближенно можно считать, что за период T радиус сферы изменяется от нуля до максимального значения $R_{\max}$, а затем снова уменьшается до нуля. В течение периода T центр сферы равномерно движется по прямой. В момент схлопывания сферы происходит случайное скачкообразное изменение скорости движения. В системе координат, где сфера покоится, это изменение скорости по порядку величины равно $R_{\max}/T \approx m^{-1}(\hbar bc/2)^{1/2}$. Оно тем больше, чем меньше масса частицы. Кроме того период T зависит от массы частицы. В результате для частиц малой массы случайные изменения скорости происходят чаще и имеют бо́льшую величину. Таким образом, выбирая геометрию пространства-времени в виде (2.2), (2.6), можно объяснить все нерелятивистские квантовые эффекты, не ссылаясь на квантовые принципы. Такая геометрия пространства-времени более правильна, чем геометрия Минковского, потому что при этом не нужны дополнительные гипотезы в виде принципов квантовой механики. В такой геометрии квантовая постоянная появляется в теории вместе с функцией дисторсии (2.6). Она является атрибутом пространства-времени, что согласуется с унивесальным характером квантовой постоянной $\hbar$.

3 Динамическая концепция статистического описания как результат преодоления АЗ.5

Мы упоминали, что выбор геометрии пространства-времени определялся из условия, что статистическое описание случайного движения частиц должно совпадать с нерелятивистским квантово-механическим описанием. Это означает, что нужно было представить квантовую механику как статистическое описание случайно движущихся частиц. После того как в конце XIX века удалось обосновать термодинамику как статистическое описание хаотически движущихся молекул, многим исследователям казалось, что тоже самое можно проделать с квантовой механикой. При этом считалось, что статистическое описание осуществляется обязательно в терминах теории вероятностей. В этом месте мы встречаемся с АЗ.5, где предполагается, что без теории вероятностей статистического описания быть не может. Попытки [12, 13] сформулировать квантовую механику в терминах теории вероятностей не привели к успеху. Дело в том, что пытаясь представить квантовую механику, как статистическое описание случайного движения частиц, обычно упускали из виду, что случайная составляющая движения частиц может быть релятивистской в то время как регулярная составляющая остается нерелятивистской.

Теория вероятностей, успешно примененная в статистической физике для статистического описания хаотического движения молекул, непригодна для описания случайного релятивистского движения. Дело в том, что использование понятия плотности вероятности предполагает возможность разбиения всех возможных состояний системы на множества одновременных независимых событий. В релятивистской теории этого нельзя сделать для непрерывной динамической системы, поскольку в теории относительности нет абсолютной одновременности. Использовать одновременность в некоторой системе координат тоже нельзя, ибо система координат есть способ описания. Одновременное использование теории вероятностей и условной одновременности (одновременности в некоторой системе координат) означало бы наведение статистики на способы описания вместо необходимого исчисления состояний рассматриваемой динамической системы.

Преодолеть возникшее препятствие можно, отказавшись от использования теории вероятностей при статистическом описании. На самом деле, термин "статистическое описание" означает только, что рассматривается большое число одинаковых или почти одинаковых объектов. При этом совсем необязательно в статистическом описании использовать теорию вероятностей, которая налагает ряд ограничений на способ описания. Например, плотность вероятности должна быть неотрицательной, что не всегда удается выполнить.

В нерелятивистской теории физическим объектом, подлежащим статистическому описанию, является частица (материальная точка), т.е. точка в обычном или фазовом пространстве. Плотность точек в пространстве неотрицательна и служит базой для введения понятия плотности вероятности. В релятивистской теории физическим объектом, подлежащим статистическому описанию, является мировая линия в пространстве-времени. Плотность мировых линией в окрестности некоторой точки x пространства-времени является 4-вектором, который не может служить основой для введения плотности вероятности. Альтернативный вариант, когда каждая мировая линия является точкой в некотором пространстве $\mathcal{V}$, позволяет ввести понятие плотности вероятности в пространстве $\mathcal{V}$ мировых линий. Однако, такое описание является нелокальным, поскольку две мировые линии, совпадающие всюду кроме некоторой очень удаленной области будут изображаться различными точками в $\mathcal{V}$, причем эти точки, вообще говоря, не будут близкими. Иначе говоря, такое введение вероятности было бы очень неудобным.

Выход из создавшегося положения состоит в отказе от использования теории вероятностей при статистическом описании. Вместо вероятностной концепции следует использовать динамическую концепцию статистического описания (ДКСО). Вместо стохастической системы $\mathcal{S}_{\mathrm{st}}$, для которой не существует динамических уравнений, используется набор $\mathcal{E}[N,\mathcal{S}_{\mathrm{st}}]$, состоящий из большого числа N независимых одинаковых систем $\mathcal{S}_{\mathrm{st}}$ и называемый статистическим ансамблем систем $\mathcal{S}_{\mathrm{st}}$. Статистический ансамбль $\mathcal{E}[N,\mathcal{S}_{\mathrm{st}}]$ образует детерминированную динамическую систему, для которой существуют динамические уравнения, хотя их нет для элементов $\mathcal{S}_{\mathrm{st}}$ статистического ансамбля. Статистическое описание состоит в том, что изучают свойства $\mathcal{E}[N,\mathcal{S}_{\mathrm{st}}]$ как детерминированной динамической системы и на основе этого изучения делают определенные заключения о свойствах элементов статистического ансамбля (стохастических систем $\mathcal{S}_{\mathrm{st}}$). Поскольку изучается динамическая система (статистический ансамбль) и ее свойства, то понятие вероятности использовать необязательно.

Наряду со статистическим ансамблем $\mathcal{E}[N,\mathcal{S}]$ систем $\mathcal{S}$ или даже вместо него можно ввести среднестатистическую динамическую систему $\langle\mathcal{S}\rangle$, которая формально определяется как статистический ансамбль $\mathcal{E}\left[N,\mathcal{S}\right]$, $(N\rightarrow\infty)$, нормированный на одну систему. Математически это означает, что, если $\mathcal{A}_{\mathrm{E}}\left[N,d_{N}\left\{X\right\}\right]$ есть действие для $\mathcal{E}\left[N,\mathcal{S}\right]$ то

$$\langle\mathcal{S}\rangle:\ \ \mathcal{A}_{\langle S\rangle}\left[d\left\{X\right\}\right]=\lim_{N\rightarrow\infty}\frac{1}{N}\mathcal{A}_{\mathrm{E}}\left[N,d_{N}\left\{X\right\}\right],\qquad d\left\{X\right\}=\lim_{N\rightarrow\infty}d_{N}\left\{X\right\}$$

есть действие для $\langle\mathcal{S}\rangle$, где X есть состояние отдельной системы $\mathcal{S}$, а $d_{N}\left\{X\right\}$ есть распределение, описывающее в пределе $N\rightarrow\infty$ как состояние статистического ансамбля $\mathcal{E}\left[N,\mathcal{S}\right]$, так и состояние среднестатистической системы $\langle\mathcal{S}\rangle$.

Замена статистического ансамбля $\mathcal{E}\left[N,\mathcal{S}\right]$ на среднестатистическую систему $\langle\mathcal{S}\rangle$ основана на нечувствительности статистического ансамбля к числу N его элементов при условии, что N достаточно велико. Среднестатистическая система $\langle\mathcal{S}\rangle$ представляет собой разновидность статистического ансамбля. Формально это проявляется в том, что состояние $\langle\mathcal{S}\rangle$ так же как и состояние статистического ансамбля $\mathcal{E}\left[N,\mathcal{S}\right]$, описывается распределением $d_{N}\left\{X\right\}$, $N\rightarrow\infty$, в то время как состояние отдельной системы $\mathcal{S}$ описывается величинами X, а не их распределением. Пользуясь этим формальным признаком, легко различить между индивидуальной динамической системой $\mathcal{S}$ и среднестатистической системой $\langle\mathcal{S}\rangle$.

Для получения квантовой механики как статистического описания случайного движения микрочастиц нужно сделать еще один важный шаг, нужно ввести волновую функцию ψ – основной объект квантовой механики. Обычно волновая функция вводится аксиоматически, т.е. как объект удовлетворяющий системе аксиом (принципов квантовой механики). По этой причине смысл волновой функции неясен. Прояснить его можно только, введя волновую функцию как атрибут некоторой модели.

Если $\mathcal{S}$ есть частица (детерминированная или случайная, то статистический ансамбль $\mathcal{E}\left[N,\mathcal{S}\right]$ частиц $\mathcal{S}$ или среднестатистическая частица $\langle\mathcal{S}\rangle$ суть непрерывные динамические системы типа флюида. Хорошо известно [14], что уравнение Шредингера может быть представлено как уравнение, описывающее потенциальное течение некоторой идеальной жидкости (флюида). Иначе говоря, волновую функцию можно рассматривать как атрибут потенциального течения флюида. Можно показать [4], что верно обратное утверждение: любое течение флюида может быть описано в терминах волновой функции, причем завихренное течение описывается многокомпонентной волновой функцией. Другими словами, при завихренном течении появляется спин.

Поскольку среднестатистическая частица $\langle\mathcal{S}\rangle$ есть флюид, то волновая функция оказывается способом описания этого флюида $\langle\mathcal{S}\rangle$. Для того, чтобы статистическое описание частицы $\mathcal{S}$ совпало с квантово-механическим описанием, нужно только найти правильное уравнение для состояния флюида $\langle \mathcal{S} \rangle$, которое в свою очередь определяется видом функции дисторсии D. Соответствующий расчет был произведен в работе [11]. Он позволил определить вид дисторсии в виде (2.6). В результате возникает концепция, которую мы будем называть модельной концепцией квантовых явлений (МККЯ). Для традиционного аксиоматического изложения квантовой механики будет использоваться термин аксиоматическая концепция квантовых явлений (АККЯ).

ДКСО является менее информативным описанием чем вероятностное статистическое описание в том смысле, что некоторые заключения и оценки, которые можно сделать при вероятностном описании, нельзя получить в рамках ДКСО. С этим приходится смириться, поскольку получить более информативное описание не представляется возможным. То обстоятельство, что квантовая механика воспринимается как динамическая (а не статистическая, т.е. вероятностная) концепция, связано с использованием ДКСО, что в свою очередь обусловлено "релятивистскими корнями" нерелятивистской квантовой механики. "Динамическое восприятие" квантовой механики имеет место как в рамках АККЯ, так и в рамках МККЯ. Заметим, что ДКСО является универсальной концепцией в том смысле, что она может с равным правом применяться как в релятивистском, так и в нерелятивистском случае.

4 АЗ.6 – отождествление индивидуальной частицы со среднестатистической

"Динамическое восприятие" квантовой механики имеет своим следствием то, что среднестатистическая частица $\langle \mathcal{S} \rangle$, описываемая волновой функцией, рассматривается просто как реальная частица $\mathcal{S}$. На вопрос, почему реальная частица $\mathcal{S}$ описывается волновой функцией ψ, т.е. непрерывным множеством переменных, (а не координатой и импульсом как обычная классическая частица) обычно отвечают, что это обусловлено квантовым характером частицы. При этом ссылаются на принципы квантовой механики, согласно которым квантовая частица описывается волновой функцией ψ, а классическая – координатой и импульсом. В этом месте мы сталкиваемся с АЗ.6, когда не делают различия между среднестатистической частицей $\langle \mathcal{S} \rangle$ и индивидуальной частицей $\mathcal{S}$.

В результате такого отождествления свойства $\langle \mathcal{S} \rangle$ и $\mathcal{S}$ перепутываются и возникает объект с противоречивыми свойствами. Пока мы работаем с математическим аппаратом квантовой механики, имеющим дело только с $\langle \mathcal{S} \rangle$ никаких противоречий и парадоксов не возникает. Однако, как только начинают описывать процесс измерения, где фигурируют оба объекта $\langle \mathcal{S} \rangle$ и $\mathcal{S}$, возникает основа для противоречий и парадоксов. Сочетания противоречивых свойств могут быть самыми причудливыми.

Существуют два различных процесса измерения. Измерение (S-измерение), производимое над индивидуальной системой $\mathcal{S}$, всегда приводит к одному определенному результату и никак не влияет на волновую функцию, которая является атрибутом среднестатистической системы $\langle\mathcal{S}\rangle$. Измерение ($M$-измерение), производимое над среднестатистической системой $\langle\mathcal{S}\rangle$, представляет собой серию из многих S-измерений, производимых над индивидуальными системами $\mathcal{S}$, составляющими среднестатистическую систему $\langle\mathcal{S}\rangle$. M-измерение изменяет волновую функцию системы $\langle\mathcal{S}\rangle$ и не прводит к одному определенному результату. Оно приводит к распределению результатов.

Наиболее часто встречается ситуация, когда считается, что волновая функция описывает состояние индивидуальной системы, и измерение, проведенное над индивидуальной системой, изменяет состояние (волновую функцию) данной системы. Результатом является парадокс, связанный с редукцией волновой функции, известный также под названием кота Шредингера. Следствием такого подхода является так называемая много-мировая интерпретация квантовой механики [15, 16].

5 АЗ.7 – отождествление гамильтониана и энергии при вторичном квантовании релятивистского поля

Энергия замкнутой динамической системы определяется как интеграл от компонета T^{00} тензора энергии-импульса системы в виде

$$E=\int T^{00}d\mathbf{x} \tag{5.1}$$

Энергия – очень важная сохраняющаяся величина. Функция Гамильтона H (гамильтониан) системы есть величина, канонически сопряженная времени, т.е. величина, определяющая временну́ю эволюцию системы. По своему определению гамильтониан H и энергия E – это совершенно разные величины. Однако, в нерелятивистской физике (классической и квантовой) эти величины во многих случаях совпадают. Например, энергия частицы в заданном потенциальном поле $U(\mathbf{x})$ имеет вид $E=\mathbf{p}^2/2m+U(\mathbf{x})$. Тот же вид имеет гамильтониан частицы. На основе такого совпадения возникает иллюзия, что энергия E динамической системы играет роль величины, определяющей её эволюцию, т.е. роль её гамильтониана H. Возникает представление, что энергия и гамильтониан просто синонимы, т.е. два разных названия одной и той же величины.

Такое отождествление энергии и гамильтониана широко используется в релятивистской квантовой механике, где это делать просто нельзя. Например, считается [17], что в динамической системе $\mathcal{S}_{\mathrm{KG}}$, описываемой уравнением Клейна-Гордона, энергия частиц может быть как положительной, так и отрицательной. Основанием для такого утверждения является то, что плоская волна в $\mathcal{S}_{\mathrm{KG}}$ имеет вид

$$\psi=Ae^{ik_0t-i\mathbf{kx}} \tag{5.2}$$

где величина $k_0 = \sqrt{m^2 + \mathbf{k}^2}$ интерпретируется как энергия и может быть как положительной, так и отрицательной. Утверждение, что энергия частицы может быть отрицательной делается несмотря на то, что компонент

$$T^{00} = m^2\psi^*\psi + \nabla\psi^*\nabla\psi \tag{5.3}$$

тензора энергии-импульса, входящий в (5.1), является неотрицательной величиной. На самом деле, величина k_0 является временны́м компонентом канонического импульса, который может иметь любой знак. Но энергия частицы всегда неотрицательна.

Итак, в данном случае мы имеем ассоциативное заблуждение (АЗ.7), состоящее в том, что энергии приписываются свойства гамильтониана. Пока такое отождествление производится на словесном уровне, это приводит только к путанице в интерпретации и не более того. Однако, в квантовой теории поля (КТП) такому отождествлению придается математический характер, и это имеет серьезные последствия для осуществления вторичного квантования скалярного поля ψ. Для гейзенберговского описания в соотношении

$$i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t} = H\psi - \psi H, \tag{5.4}$$

описывающем эволюцию динамической переменной ψ, гамильтониан H заменяется на энергию (5.1), т.е. (5.4) записывается в виде

$$i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t} = E\psi - \psi E \tag{5.5}$$

Условие (5.5) представляет собой дополнительное условие, которое не является необходимым для проведения вторичного квантования. (Вторичное квантование можно произвести, не налагая условия (5.5).) При наложении дополнительного условия необходимо проверить его совместность с динамическими уравнениями. К сожалению, понимание необходимости такой проверки отсутствует. Оказывается, что условие (5.5) совместно с динамическими уравнениями только в тривиальном случае линейного поля ψ. Для нелинейного поля условие (5.5) оказывается несовместным с динамическими уравнениями, что проявляется в нестационарности вакуумного состояния.

Теория скалярного поля ψ, квантованного в соответствии с условием (5.5), представляет собой непоследовательную (внутренне противоречивую) концепцию, которая, однако же, очень удобна в том отношении, что она (как и всякая противоречивая концепция) позволяет объяснять многие факты, которые не представляется возможным объяснить в последовательной концепции, не использующей условие (5.5).

Отождествление энергии и гамильтониана $E = H$ (условие (5.5)) используется в КТП в течение второй половины XIX века, т.е. около 50 лет. Это условие не является необходимым для проведения вторичного квантования, и его несовместность с динамическим уравнениями довольно очевидна. Почему в течение полувека развития КТП оно не подвергалось критическому анализу? В КТП много трудностей и проблем, и внутренняя непротиворечивость КТП неоднократно подвергалаась сомнению. Однако условие (5.5) сомнению не подвергалось. Если же оно подвегалось сомнению, то подобные сомнения отбрасывались. Автор многократно обсуждал этот вопрос со специалистами по КТП, но всякий раз реакция была одной и той же. Не выдвигая контраргументов и соглашаясь с тем, что условие (5.5) не слишком хорошо, оппонент автора отказывался делать из этого выводы, касающиеся процедуры вторичного квантования. Попросту говоря, причины трудностей КТП искали на ее поверхности, отказываясь затронуть основы КТП.

6 О стилях исследования

Стиль рассуждений выглядел примерно таким образом: делаем дополнительное предположение и изучаем его последствия для теории и эксперимента. Если они положительны, то дополнительное предположение оставляем в теории, если – нет, то отбрасываем и придумываем новое дополнительное предположение. Такими предположениями были: нормальное упорядочение, перенормировки, изменение размерности пространства с последующей его компактизацией, струны и т.д. Этот стиль исследования: дополнительное предположение с последующим изучением его последствий мы называем П-стилем (прагматичным стилем). Он характерен не только для развития КТП. Развитие квантовой механики в начале XX века осуществлялось с помощью П-стиля. Оно проходило в борьбе с классическим стилем (К-стилем) исследований, сложившимся к концу XIX века. В этой борьбе П-стиль одержал победу над К-стилем, который выступал в роли представителя классической (неквантовой) физики. Последователи Птолемея пользовались П-стилем, а последователи Коперника — К-стилем, и борьба последователей Коперника с последователями Птолемея была одновременно борьбой К-стиля с П-стилем. Тогда победу одержал К-стиль. Он достиг своего апогея к концу XIX века и в XX веке при исследовании квантовых явлений уступил П-стилю.

В чем причина существования двух разных стилей исследования? Почему победу одерживает то один, то другой стиль исследований? Ответ на этот вопрос выглядит следующим образом.

К-стиль – это стиль исследований в рамках последовательной теории. Он выдвигает на первый план последовательность (внутреннюю непротиворечивость) теории: К-стиль ограничивает выдвижение дополнительных предположений, требуя, чтобы они не противоречили первым принципам теории (Вспомним ньютоновские слова: "Я гипотез не измышляю.") В силу жесткости своих требований к стилю исследований К-стиль обладает бóльшей предсказательностью, чем П-стиль, в котором эти требования существенно мягче. В числе требований К-стиля содержатся и этические требования к исследователям. Например, исследователь, публикующий недостаточно обоснованную работу, содержащую произвольные (т.е. не следующие из первых принципов) допущения, рискует своей научной репутацией.

Для К-стиля характерно внимание к фундаментальным проблемам теории и, в частности, к результатам и предсказаниям теории, важным для ее дальнейшего развития. При этом решение конкретных практических задач отодвигается на второй план, поскольку считается, что решение конкретной задачи есть простое (формальное) применение первых принципов и математического аппарата к условиям новой задачи и не более того. За таким отношением стоит уверенность исследователя, использующего К-стиль, в правильности первых принципов и в логической состоятельности теории.

Предсказательность К-стиля, жесткость его требований и уверенность в себе хороши только в условиях, когда первые принципы верны. Если же первые принципы теории содержат ошибку, то некоторые предсказания теории оказываются ошибочными и побуждают к поиску ошибки, которая может оказаться как в первых принципах, так и в выводе логических следствий из них. Чаще всего ошибка обнаруживается в неправильном использовании первых принципов.

Однако, если ошибка в выводах теории (несогласие предсказаний теории с экспериментом) не обнаруживается достаточно долго, то потребность развития процесса познания и необходимость совершенствования языка и терминологии для описания экспериментальных данных порождают более прагматичный стиль (П-стиль) исследований.

П-стиль выдвигает на первый план возможность объяснить экспериментальные данные, что обычно достигается с помощью дополнительных предположений. Последовательность теории и отсутствие в ней внутренних противоречий отодвигается на второй план. Хотя представители П-стиля формально провозглашают, что они стремятся к устранению из теории внутренних противоречий, однако, это не всегда удается и рассматривается как меньшее зло, чем невозможность объяснить эксперимент. П-стиль допускает выдвижение дополнительных предположений, если даже они оказываются несовместимыми с первыми принципами. Важно только, чтобы они были полезными и приводили к объяснению экспериментальных данных. Соответственно П-стиль предъявляет существенно меньшие требования к исследователям. Например, научная репутация исследователя не страдает, или страдает незначительно, если он, написав одну очень хорошую работу, напишет несколько посредственных или даже ошибочных работ. Предсказательность П-стиля существенно ниже, чем К-стиля, поскольку П-стиль допускает лишь "короткую логику" (короткие логические цепи). Например, среди исследователей занимающихся квантовой теорией широко распространена такая точка зрения, что существенно новый результат можно получить, только сделав некоторое существенно новое предположение в рамках квантовой теории. Мысль, что новизна может быть в первых принципах (т.е. вне рамок квантовой теории), а новый результат есть следствие длинной логической цепи рассуждений воспринимается как нечто нереальное.

Прагматизм П-стиля проявляется в выдвижении на первый план решения конкретных практических задач. Считается, что молодоый и полный сил исследователь должен заниматься решением конкретных задач, а решение фундаментальных проблемы теории – удел пожилых и опытных исследователей. В соответствии с такой позицией обычно игнорируются и не обсуждаются факты и результаты, важные для дальнейшего развития теории, но не имеющие прямого отношения к практическим приложениям ее. За всем этим стоит неуверенность представителей П-стиля в первых принципах теории и ее логической состоятельности. При первых признаках неудачи в решении практической задачи представители П-стиля готовы выдвигать дополнительные предположения или даже пересматривать первые принципы.

П-стиль оказывается более эффективным лишь тогда, когда К-стиль оказывается неэффективным. Последнее случается тогда, когда в первых принципах имеется ошибка или дефект. Иначе говоря, К-стиль является более эффективным, чем П-стиль только при отсутствии помех. П-стиль является помехоустойчивым, и при наличии помех оказывается более эффективным, чем К-стиль. В период длительного господства П-стиля происходит вырождение теории. Обрастая множеством дополнительных противоречащих одно другому предположений, теория постепенно теряет свою предсказательную силу и способность к полноценному развитию. Так было во время господства доктрины Птолемея. То же происходит сейчас с квантовой теорией поля.

Вообще говоря, К-стиль более эффективен и предсказателен, однако, при том непременном условии, что первые принципы верны. П-стиль полезен в том отношении, что работает тогда, когда в первых принципах имеется ошибка, и К-стиль отказывается работать. В этом случае П-стиль позволяет вырабатывать новые адекватные понятия и терминологию для описания экспериментов, которые не может объяснить теория, основанная на первых принципах. Исследования, проводимые на основе П-стиля, в конечном счете помогают обнаружить ошибку в выборе первых принципов и произвести необходимый пересмотр теории.

Любой стиль исследования очень консервативен. Он вырабатывается исследователем в течение всей его исследовательской деятельности. Если исследователь привык к П-стилю, т.е. по существу работает методом проб и ошибок, ему бывает очень трудно привыкнуть к жестким ограничениям К-стиля. Наоборот, исследователь, использующий в своей работе К-стиль, привыкает работать с последовательными концепциями. Ему бывает трудно перейти к более свободному П-стилю и изобретать новые дополнительные предположения для того, чтобы объяснить новые экспериментальные факты. Консервативность стиля исследований приводит к конфликтам, когда господствующий стиль исследований изменяется. Например, во время Птолемея господствующим был П-стиль. Обнаружение АЗ.2 требовало создания последовательной концепции небесной механики, свободной от произвольных предположений. Конфликт между последователями Птолемея и последователями Коперника был одновременно конфликтом стилей исследования.

В настоящее время практически все исследователи, работающие в релятивистской квантовой теории, используют П-стиль. Они с трудом воспринимают аргументы сторонников К-стиля, нашедших ошибки и непоследовательности в первых принципах квантовой теории.

7 История преодоления ассоциативных заблуждений

Ассоциативные заблуждения обладают несколько необычными свойствами. Обычно они преодолеваются бессознательно. Как правило, ассоциативные заблуждения обнаруживаются и осознаются лишь после того, как они преодолены. Преодоление АЗ.2 (борьба доктрины Коперника с доктриной Птолемея) продолжалось несколько десятилетий. При этом обе стороны прекрасно понимали причину разногласий, однако, то, что этой причиной является ассоциативное заблуждение никому не было интересно.

Следующее ассоциативное заблуждение АЗ.3 (декартова система координат как фундаментальный объект геометрии) было преодолено в течение второй половины XIX века. Его преодоление прошло незамеченным в том смысле, что осталась неясной причина конфликтов в научном сообществе. Если в случае АЗ.2 было понятно из-за чего ведется спор, то в случае АЗ.3 причина конфликта оставалась неясной. Математическое сообщество не принимало неевклидову геометрию. На этот счет имеются свидетельства Феликса Клейна [18]. Известно также, что российское математическое сообщество с предубеждением относилось к работам Н.И. Лобачевского по геометрии с отрицательной кривизной и к самому Н.И. Лобачевскому, как автору этих работ [19]. К сожалению, анализа причин предубеждения против неевклидовой геометрии проведено не было (во всяком случае такой анализ нам неизвестен), и этот эпизод остался в истории математики как непонятный всплеск консерватизма.

Ассоциативные заблуждения АЗ.4 – АЗ.7 находятся в стадии преодоления. С одной стороны объективный анализ способов преодоления ассоциативных заблуждений здесь очень затруднителен, с другой стороны он необходим, поскольку такой анализ облегчил бы преодоление АЗ.4 – АЗ.7. Кроме того АЗ.4 – АЗ.7 не являются последними ассоциативными заблуждениями на пути процесса познания. Знание свойств и особенностей ассоциативных заблуждений может помочь в преодолении последующих АЗ.

АЗ.4 – АЗ.7 были обнаружены и преодолевались одним человеком – автором данной статьи. Обнаружение и преодоление АЗ процесс достаточно редкий, и все такие преодоления можно пересчитать по пальцам. В этой связи очень трудно ответить на возникающие при этом вопросы типа: С чем связано обнаружение АЗ, каковы те обстоятельства, при которых происходит обнаружение АЗ?. Почему АЗ удается преодолеть одним исследователям и не удается – другим?

Мотивы и привходящие обстоятельства обычно известны только тем исследователям, которые принимали непосредственное участие в преодолении АЗ (в данном случае это автор статьи). Процесс преодоления был достаточно длительным (около 40 лет), дневник не велся, и приходится полагаться на воспоминания. Однако, человеческая память недостаточно надежна. Человек склонен забывать события и обстоятельства, особенно, если они неприятны для него. Происходит подсознательная мифологизация процесса исследования. Однако, воспоминания единственного непосредственного участника процесса обнаружения и преодоления АЗ представляют несомненную ценность для дальнейших исследований ассоциативных заблуждений, даже если они субъективны и сильно мифологизированы. Такие воспоминания представляют ценность для последующих исследователей даже в том случае, если их автор не понял или неправильно понял, что он сделал на самом деле и вместо важных обстоятельств описал несущественные детали, почему-то запомнившиеся ему.

Опыт преодоления АЗ.4 – АЗ.7 свидетельствует о том, что в некоторых случаях преодоление ассоциативного заблуждения происходит случайно и является побочным результатом исследований, проводимых с другой целью. В других случаях АЗ оказалось связанным с недостаточным пониманием существующей теории (в частности, теории относительности), и преодоление происходило вполне сознательно. Однако, участвуя в процессе преодоления АЗ, очень трудно объективно анализировать этот процесс. По-видимому, объективный анализ будет возможным, лишь после того, как процесс преодоления АЗ будет завершен. Автор может сделать свой вклад в этот анализ только одним способом – рассказать, как *с его точки зрения* происходил процесс этого преодоления. Разумеется, можно производить анализ на основе опубликованных работ, однако, при этом нельзя учесть мотивы написания работы и то важное обстоятельство, что иногда полученные результаты отличаются от того, что хотел получить автор работы. Мотивы и цели автора несущественны при оценке его вклада, но они важны при изучении процесса познания (анализа процесса преодоления АЗ).

Вообще говоря, воспоминаниям место в мемуарной литературе, а не в научной статье. В данном случае извинением является то, что речь идет не просто о воспоминаниях, а о воспоминаниях, сопровождающихся математическими формулами и понятных лишь специалистам. Кроме того речь идет о свидетельстве (пусть даже очень субъективном), касающемся достаточно редкого познавательного процесса, каким является преодоление АЗ.

Итак, далее будут изложены свидетельства участника, излагаемые от первого лица единственного числа для того, чтобы подчеркнуть субъективный характер воспоминаний и отделить их от остального изложения, претендующего на объективность. Свидетельства участника никоим образом не претендуют на обзор исследований, связанных с преодолением АЗ.4 – АЗ.7, и все ссылки на других исследователей приведены лишь в той мере, в какой они повлияли на исследования участника и остались в его памяти.

8 Мировая функция как носитель информации о геометрии. Свидетельство участника о начале преодоления АЗ.4.

Мысль о том, что пространство-время полностью описывается заданием интервала (расстояния) между парами событий возникла у меня сразу после моего знакомства с теорией относительности. (Это было на втором курсе в 1955 г.) Я полагал, что все специалисты придерживаются того же мнения и не видел ничего нового и удивительного в этой точке зрения. (Впоследствии многие физики говорили мне, что они придерживались той же точки зрения.) Меня несколько удивляло то, что задавался бесконечно малый (а не конечный) интервал, однако я объяснял себе это тем, что с бесконечно малым интервалом проще работать, т.к. он содержал меньше информации (функции одной точки пространства), чем конечный интервал (функция двух точек пространства). То обстоятельство, что задание бесконечно малого интервала невозможно без введения размерности и многообразия, я поначалу просто не понимал и рассматривал размерность и многообразие как естественные атрибуты пространства-времени.

Я предпринял исследование того, в какой мере можно описывать пространство-время в терминах конечного интервала. Конечный интервал был привлекателен тем, что в нем содержалось больше информации. Например, геодезическая, описываемая обычно системой четырех обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, в терминах конечного интервала $S(x,x')$ описывается как решение $x' = x^i(\tau)$, $i = 0,1,2,3$ системы четырех алгебраических уравнений

$$\frac{\partial G(x,x')}{\partial x'^{i'}} = b_{i'}\tau, \qquad b_{i'} = \text{const}, \qquad G(x,x') = \frac{1}{2}S^2(x,x') \tag{8.1}$$

То, что принято сейчас называть мировой функцией и обозначать через σ, я обозначил буквой G, что ассоциировалось у меня с гравитацией, а прописными буквами я обозначал величины, зависящие от двух точек.

Нужно отметить, что у меня выработался несколько необычный и, как я сейчас понимаю, неприятный для коллег стиль работы. Он состоял в том, что перед тем как предпринять исследование я не изучал или изучал в минимальной степени то, что было сделано предшественниками. Появление такого стиля я связываю с тем, что на протяжении всей учебы в университете у меня по существу не было научного руководителя, который дал бы мне определенную тему и настоял бы на том, чтобы я ей занимался. Разумеется, официальный научный руководитель у меня был. Он предлагал мне тему дипломной работы и в дальнейшем тему кандидатской диссертации. Однако, я был своевольным студентом, игнорировал рекомендации научного руководителя и занимался теми исследованиями, которые считал интересными и нужными. Со своей стороны мой научный руководитель, квалифицируя меня как неуправляемого, не настаивал на своем выборе предмета исследований и не препятствовал моему своеволию в его выборе. Больше того он всячески поддерживал меня в моей работе.

Обычно научный руководитель, предлагая студенту тему исследования и соответствующую литературу для прочтения, гарантирует тем самым, что работа над предложенной темой не будет "изобретением велосипеда", т.е. переоткрытием известных результатов. Я начинал работу над исследованием свойств конечного интервала (мировой функции) так, как если бы подобные исследования не проводились раньше. Я о них ничего не знал, и никто из моих коллег не мог мне сказать что-либо о подобных исследованиях. Исследование проводилось весной и летом 1958 года, когда я был студентом последнего курса физфака МГУ.

Понимая опасность переоткрытия известных результатов, я подсознательно стремился подстраховаться. Подстраховка состояла в том, что я должен был довести исследование до получения заведомо нового и интересного результата. Возможность того, что промежуточные результаты окажутся переоткрытием уже известных, мало волновала меня.[2] Я игнорировал очевидный способ исследования мировой функции $G(x,x')$ – разложение в ряд по степеням $x-x'$ и обратил внимание на то обстоятельство, что величина $\Gamma_{kl}^{i}(x,x') \equiv G^{is'}G_{kl,s'}$ представляет собой по своим трансформационным свойствам скаляр в точке x' и скобку Кристоффеля в точке x. Здесь использованы обозначения

$$G_{kl'} \equiv \frac{\partial^2 G}{\partial x^k \partial x'^{l'}}, \qquad G_{kl,s'} \equiv \frac{\partial^3 G}{\partial x^k \partial x^l \partial x'^{s'}} \tag{8.2}$$

а $G^{is'}$ есть матрица, обратная матрице $G_{kl'}$

Больше того, оказалось, что $\Gamma_{kl}^{i}(x,x')$ представляет собой скобку Кристоффеля для плоского пространства, т.е. тензор кривизны Римана – Кристоффеля для $\Gamma_{kl}^{i}(x,x')$ был тождественно равен нулю. В результате оказалось возможным ввести такую производную по x^i, которая является ковариантной производной в некотором плоском пространстве и зависит от параметра – точки x'.

Все это означало, что с мировой функцией и римановым пространством V, которое она описывает, ассоциируется множество плоских пространств $E_{x'}$, маркируемых точкой x' риманова пространства V. Исследование этого вопроса показало, что пространства $E_{x'}$ представляют собой плоские пространства, касательные к риманову пространству V в точке x'. Оказалось, что мировая функция автоматически порождает некий двухметрический формализм, осуществляющий геодезическое отображение риманова пространства V на $E_{x'}$. Более того, впоследствии было обнаружено [20], что подобное отображение осуществляет любая симметричная скалярная функция $G(x,x')$ от двух точек, для которой можно определить тензор $G^{is'}$. Однако, в то время я не

[2]Я догадывался о том, что не очень этично не ссылаться на своих предшественников, и я по мере сил старался не допускать этого. Однако, то, что отсутствие ссылок на предшественников, дезориентирует читателей, впервые знакомящихся с данным предметом, мне как-то в голову не приходило. Я узнал об этом позже.

знал этого результата и не задумывался над тем, что можно выйти за пределы римановой геометрии.

Между тем результаты работы позволяли сделать это уже тогда. Наиболее очевидным результатом работы было создание двухметрического формализма на основе мировой функции, и именно этот результат производил наибольшее впечатление на моих коллег. Сам я считал основным результатом получение системы уравнений для мировой функции риманова пространства. Уравнение, которому удовлетворяет мировая функция σ риманова пространства, хорошо известно [21]

$$\frac{\partial\sigma}{\partial x^i}g^{ik}(x)\frac{\partial\sigma}{\partial x^k}=2\sigma \tag{8.3}$$

Оно в явном виде содержит метрический тензор риманова пространства, и поэтому не может служить в качестве уравнения, разбивающего все возможные симметричные функции $G(x,x')$ на два множества, одно из которых содержит функции, могущие служить мировой функцией риманова пространства, а другое – содержит функции $G(x,x')$, которые не могут выполнять эту роль.

Используя двухметрический формализм, удалось исключить из уравнения (8.3) метрический тензор и получить систему уравнений для мировой функции, не содержащую метрического терзора явно, но зато содержащую производные мировой функции по обоим аргументам x и x' [22]. Мировая функция любого риманова пространства удовлетворяла этой системе уравнений.

Система уравнений порождала вопрос. Что описывает мировая функция, не удовлетворяющая этой системе? Описывает ли она нериманову геометрию, или она не описывает никакой геометрии, вообще? В то время (в начале шестидесятых годов) я такого вопроса не задавал, но считал получение этой системы уравнений главным результатом своей работы. Мои попытки обратить внимание коллег на этот результат не приводили к успеху. Соглашаясь с тем, что двухметрический формализм является определенным достижением, они были совершенно равнодушны к тому, что я считал главным результатом – получение системы уравнений для мировой функции риманова пространства.

Работа была опубликована в 1962 году в мало известном журнале [22], почти через три года после того, как она поступила в редакцию журнала. В период между поступлением статьи в редакцию журнала и ее публикацией произошло важное для меня событие. В Москве появилась книга Синга [21], в которой впервые общая теория относительности излагалась на основе мировой функции. Из нее я узнал, что мировая функция была впервые введена практически одновременно Рузе [23] и Сингом [24] и что свойства ее исследованы.

Однако, в книге Синга не было ничего о двухметрическом формализме и геодезическом отображении на касательные пространства $E_{x'}$. Опасения, что результаты моих исследований окажутся переоткрытием известных результатов, оказались напрасными. Более того, знакомство с книгой Синга привело к росту моей уверенности в своих силах. Если я, будучи студентом, сумел без посторонней помощи провести исследование и получить результаты, которые не удалось получить столь опытному и известному исследователю как

Дж.Л. Синг, то это означает, что я на равных могу конкурировать с любыми исследователями. Эта возросшая уверенность в своих силах сильно помогла мне в дальнейшем. Получил существенное подтверждение мой стиль работы, когда на начальной стадии исследований, я не очень утруждал себя изучением литературы, откладывая это на тот период, когда будут получены первые достойные публикации результаты. Такой стиль был связан в первую очередь с тем, что я имел склонность развивать совершенно новое направление, а не продолжать исследование предшественников. Во-первых, так было легче, а во-вторых, внимательное изучение литературы оказывало на меня сильное воздействие. Оно толкало меня на проторенный путь и препятствовало выбору естественных, с моей точки зрения, направлений исследования, которые почему-то оказывались иногда альтернативными к общепринятым направлениям.

До 1964 года я написал несколько работ по приложению двухметрического формализма к теории гравитации и несколько работ по единой теории поля. Занятия единой теорией поля привели меня к убеждению, что все универсальные явления и универсальные постоянные являются проявлениями свойств пространства-времени. Например, я был уверен (и уверен в этом сейчас), что кратность электрического заряда элементарному обусловлена свойствами пространства-времени и что квантовая постоянная $\hbar$ описывает пространственно-временны́е свойства. Кроме того к концу 1964 года у меня возникло понимание того, что нельзя преуспеть в изучении свойств пространства-времени без понимания того, что такое квантование. Это (и другие обстоятельства) привело к тому, что я ушел из МГУ и сменил предмет исследований.

9 Релятивистская статистика мировых линий. Свидетельство участника о преодолении АЗ.5 и АЗ.6

В 1964 году я перестал заниматься гравитацией, геометрией и единой теорией поля. Несколько лет занимался прикладными работами и в начале семидесятых годов занялся развитием направления, которое называл "квантовая механика как релятивистская статистика". Развитие именно этого направления связано с преодолением АЗ.5. Тогда я полагал, что квантовая механика есть результат статистического описания стохастически движущихся частиц. Это казалось мне естественным в свете того, что в конце XIX века тепловые явления были успешно объяснены как результат статистического описания хаотически движущихся молекул. Я полагал, что квантовые явления могут быть объяснены аналогично. Идея не была новой, но многочисленные попытки осуществить эту программу не принесли успеха. Насколько мне известно, большинство исследователей считало подобную программу ошибочной. Они считали, что квантовые свойства являются первичными, ни к чему не сводимыми свойствами, отражающими "квантовую природу" устройства мира.

Я же полагал, что неудачи были связаны с нерелятивистским характером используемого статистического описания. Мне казалось, что, хотя квантовая механика была нерелятивистской, но статистическое описание должно быть тем не менее последовательно релятивистским. По моему мнению, из того, что регулярная составляющая движения частиц была нерелятивистской, вовсе не следовало, что случайная составляющая тоже нерелятивистская. На всякий случай нужно было использовать релятивистское статистическое описание, которое было бы правильным независмо от того, какой является стохастическая составляющая движения, релятивистской или нерелятивистской.

Будучи студентом, я изучал теорию относительности по книге В.А.Фока [25] и разделял его точку зрения, что релятивистская теория отличается от нерелятивистской не только релятивистской инвариантностью динамических уравнений. Как известно, главное различие между специальной теорией относительности (СТО) и нерелятивистской физикой в том, что нерелятивистской физике есть понятие одновременности событий в удаленных точках, а в СТО этой одновременности нет. По существу, это означало, что нерелятивистская физика несовместима с релятивистской. Однако, компромисс между релятивизмом и дорелятивистской физикой был совершенно необходим, поскольку физика оставалась в основном нерелятивистской. Изложение же всей нерелятивистской физики на релятивистском языке только для того, чтобы учесть малые релятивистские поправки, казалось совершенно неприемлемым. Был найден компромисс, который состоял в том, что вводилась относительная одновременность (одновременность в данной системе координат). Таким образом, с одной стороны, одновременность как будто бы была, и нерелятивисты были удовлетворены. С другой стороны, она была относительная. Ее как бы не было, и релятивисты были тоже удовлетворены. С одной стороны компромисс облегчал нерелятивистам переход к релятивистской физике, позволяя им сохранить нерелятивистский стиль мышления при описании релятивистских процессов, но с другой стороны, именно благодаря этому стилю компромисс затруднял исследование физических процессов, релятивистский характер которых не был очевиден.

К сожалению, ограниченность компромисса, связанного с применением относительной одновременности, понимали очень немногие физики. Практически все учебные пособия по теории относительности были написаны на основе этого компромисса и, по-видимому, это было причиной того, что большинство исследователей игнорировало употребление пространственно-временны́х схем в своих исследованиях. Обычно описание проводилось в терминах системы координат и релятивистской инвариантности уравнений. Иначе говоря, большинство исследователей мыслило в терминах ньютоновской механики с поправками на релятивистскую инвариантность, а не геометрически (в терминах пространственно-временны́х схем). Такой подход не способствовал исследованиям релятивистских явлений, и об этом очень хорошо пишет Дж. Синг в предисловии к своей книге [21]. Что касается меня, то я так же как и Дж. Синг мыслил пространственно-временны́ми схемами, т.е. в терминах пространственно-временно́й геометрии.

Я полагал, что теория вероятностей не может использоваться для статистического описания релятивистских стохастических частиц, поскольку понятие состояния частицы в СТО существенно отличается от понятия состояния в нерелятивистской физике. В СТО физическим объектом, связанным с частицей, является мировая линия (МЛ, или эмлон). Первичным является эмлон, а частица (и античастица) является атрибутом эмлона. Частица есть сечение эмлона гиперповерхностью $t =$const. В нерелятивистской физике физическим объектом является частица, а мировая линия есть ее атрибут (история). Описание физического объекта или явления обычно разбивается на две части: (1) состояние объекта и (2) динамические уравнения, описывающие эволюцию состояния. Динамика не чувствительна к тому, как именно производится разбиение описания на состояние и динамические уравнения. Для нее не имеет значения, что является физическим объектом: эмлон или частица. Напротив, статистическое описание является исчислением состояний, и для него очень важно, что является физическим объектом и что является состоянием этого объекта. Различный выбор физического объекта и различное разбиение на состояние и динамические уравнения приводит к разным результатам.

Теория вероятностей приспособлена к исчислению состояний частиц, но не эмлонов. Однако, от понимания того, что теория вероятностей не совместима со статистическим описанием релятивистских частиц до построения безвероятностного статистического описания большое расстояние, и нужно сделать не один шаг, чтобы преодолеть его.

Понимая, что плотность состояний мировых линий описывается 4-вектором j^i, я пытался сформулировать квантовую механику в терминах 4-вектора j^i, т.е. получить то, что принято называть гидродинамической интерпретацией квантовой механики. Я стремился разработать математический аппарат, который позволял бы в дальнейшем превратить плотность состояний j^i в фундаментальный объект теории, сделав волновую функцию атрибутом этого объекта. В процессе исследований мне удалось сформулировать статистический принцип, регламентирующий построение статистического описания [26]. По существу, статистическое описание состояло в следующем. При статистическом описании рассматривается много независимых стохастических частиц. Они образуют что-то вроде газа (или флюида), состояние которого описывается средним потоком частиц j^i, $\quad i = 0, 1, 2, 3$. Таким образом, преодолевалось АЗ.5, (состоящее в том, что использование теории вероятностей предполагалось необходимым условием статистического описания). Чтобы получить квантовую механику, нужно было перейти от j^i к волновой функции ψ. В этом месте возникли чисто математические проблемы.

Дело в том, что переход от волновой функции к гидродинамике с вектором j^i, был хорошо известен [14]. Однако он приводил к потенциальному течению флюида, т.е. к очень специальному случаю течения. Как построить волновую функцию для потенциального течения, было известно. Но как это сделать в случае произвольного течения флюида? Это был сложный математический вопрос, который отнял у меня много времени и сил. Однако, в конце концов я его решил. Оказалось, что нужно проинтегрировать полную систему гидродинамических уравнений, т.е. систему, состоящую из уравнений Эйлера и уравнений, описывающих движение частиц флюида в заданном поле скоростей (так называемые условия Лина). В результате интегрирования появлялись произвольные функции, порядок системы понижался, и она описывалась в терминах потенциалов Клебша. После этого можно было вводить многокомпонентную волновую функция, которая появлялась теперь как атрибут описания флюида.

Этот результат был получен в середине восмидесятых годов и впервые применен в гидродинамике [27]. После этого возник математический аппарат динамической концепции статистического описания, (ДСКО). Волновая функция превратилась в атрибут статистического описания, и многие проблемы, неподдававшиеся ранее решению, стали легко решаться.

Здесь следует заметить, что попытки пересмотреть и по-другому интерпретировать квантовую механику многочисленны (см. [14, 28, 30, 31, 32] и ссылки в них). Все они стартовали с волновой функции и уравнения Шредингера, пытаясь придать иную более приемлемую интерпретацию квантовым величинам. В результате получались различные интерпретации квантовой механики и не более того, потому что волновая функция оставалась фундаментальным объектом теории. Сделав волновую функцию атрибутом статистического описания, я лишил ее статуса фундаментального объекта. В результате возникла другая концепция, а не просто другая интерпретация квантовой механики.

Решенная мной задача была задачей из области гидродинамики (механики сплошных сред), т.е. из той области знаний, в которой я не был специалистом. В то же время я работал в лаборатории, состоящей почти сплошь из гидродинамиков – выпускников мехмата МГУ. Я докладывал работу по гидродинамике на семинаре лаборатории. Гидродинамики слушали доклад с недоумением, не видя в нем результата. Там, где я видел интегрирование с появлением трех произвольных функций интегрирования, они видели лишь сложную замену переменных. Была причина для такой точки зрения. Я кратко изложу суть дела, поскольку это кажется мне важным для понимания, в чем состояло заблуждение, и как шел процесс его преодоления.

Движение идеальной сжимаемой жидкости описывается обычно пятью уравнениями Эйлера для пяти зависимых переменных скорости $\mathbf{v}$, плотности ρ и энтропии S

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \boldsymbol{\nabla}(\rho \mathbf{v}) = 0 \tag{9.1}$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v}\boldsymbol{\nabla})\mathbf{v} = -\frac{1}{\rho}\boldsymbol{\nabla} p, \qquad p = \rho^2 \frac{\partial E}{\partial \rho} \tag{9.2}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + (\mathbf{v}\boldsymbol{\nabla})S = 0 \tag{9.3}$$

где p есть давление, а $E = E(\rho, S)$ есть внутренняя энергия единицы массы, рассматриваемая как функция плотности ρ и энтропии S. Внутренняя энергия $E = E(\rho, S)$ есть единственная характеристика идеальной жидкости.

Уравнения Эйлера являются с одной стороны замкнутой системой уравнений, а с другой – они не образуют полную систему динамических уравнений, описывающих динамическую систему $\mathcal{S}_{\text{fl}}$, называемую идеальной жидкостью. Для осуществления полного описания нужно добавить еще три уравнения, описывающие перемещение частицы жидкости при заданном поле скоростей $\mathbf{v}(t, \mathbf{x})$. Это можно сделать, добавляя так называемые условия Лина [33]

$$\frac{\partial \boldsymbol{\xi}}{\partial t} + (\mathbf{v}\boldsymbol{\nabla})\boldsymbol{\xi} = 0, \tag{9.4}$$

где лагранжевы переменные $\boldsymbol{\xi} = \boldsymbol{\xi}(t, \mathbf{x}) = \{\xi_\alpha(t, \mathbf{x})\}$, $\alpha = 1, 2, 3$ рассматриваются как функции независимых переменных $t, \mathbf{x}$. Если решить уравнения (9.4) и определить $\boldsymbol{\xi}$ как функции от $(t, \mathbf{x})$, то конечные соотношения

$$\boldsymbol{\xi}(t, \mathbf{x}) = \boldsymbol{\xi}_{\text{in}} = \text{const} \tag{9.5}$$

неявно описывают траекторию частиц и движение вдоль нее.

Лагранжевы переменные $\boldsymbol{\xi}$ маркируют частицы флюда, так как они представляют собой три независимых интеграла системы уравнений

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{v}(t, \mathbf{x}), \qquad \mathbf{x} = x(t, \boldsymbol{\xi}), \tag{9.6}$$

описывающих перемещение частицы в заданном поле скоростей. Условия Лина (9.4) эквивалентны системе из трех обыкновенных дифференциальных уравнений (9.6), поэтому гидродинамики не принимают их всерьез, полагая, что главное – решить уравнения Эйлера. Если они решены, т.е. если решена система из пяти уравнений в частных производных, то последующее решение системы из трех обыкновенных уравнений представляет собой существенно более простую задачу. Главное же в том, что обычно нет необходимости решать уравнения (9.6), поскольку система уравнений Эйлера замкнутая и позволяет найти течение жидкости независимо от уравнений (9.6). Само по себе перемещение частиц жидкости, описываемое уравнениями (9.6) не интересно гидродинамикам. Все это приводило к тому, что гидродинамики просто игнорировали условия Лина как в виде (9.4), так и в виде (9.6). На практике это приводило к тому, что вариационный принцип пытались написать не для динамической системы $\mathcal{S}_{\text{fl}}$, а для замкнутой системы уравнений (9.1) – (9.3), что было невозможно. Это удалось сделать лишь после того как к системе уравнений Эйлера были присоединены условия Лина (9.4) [34].

Полная система динамических уравнений (9.1) – (9.4) инвариантна относительно перемаркировки частиц флюида. Это означает, что преобразование перемаркировки $\boldsymbol{\xi}$ частиц флюида

$$\xi_\alpha \to \tilde{\xi}_\alpha = \tilde{\xi}_\alpha(\boldsymbol{\xi}), \qquad D \equiv \det \parallel \partial\tilde{\xi}_\alpha / \partial\xi_\beta \parallel \neq 0, \qquad \alpha, \beta = 1, 2, 3 \tag{9.7}$$

не меняет вида системы уравнений (9.1) – (9.4), т.е. группа преобразований перемаркировки (9.7) является группой симметрии полной системы уравнений

(9.1) – (9.4). Использование усеченной системы уравнений (9.1) – (9.3) позволяет игнорировать маркировку $\boldsymbol{\xi}$ частиц жидкости, и производить описание в премаркирововочно инвариантных переменных $\rho, \mathbf{v}, S$.

Существует другой путь упрощения полной системы динамических уравнений (9.1) – (9.4), отличный от игнорирования переменных $\boldsymbol{\xi}$ и описания в терминах перемаркировочно инвариантных переменных $\rho, \mathbf{v}, S$. Используя тот факт, что группа преобразований перемаркировки (9.7) является группой симметрии динамических уравнений, можно проинтегрировать полную систему динамических уравнений (9.1) – (9.4) в виде

$$S(t, \mathbf{x}) = S_0(\boldsymbol{\xi}) \tag{9.8}$$

$$\rho(t, x) = \rho_0(\boldsymbol{\xi}) \frac{\partial(\xi_1, \xi_2, \xi_3)}{\partial(x^1, x^2, x^3)} \equiv \rho_0(\boldsymbol{\xi}) \frac{\partial(\boldsymbol{\xi})}{\partial(\mathbf{x})} \tag{9.9}$$

$$\mathbf{v}(t, \mathbf{x}) = \mathbf{u}(\varphi, \boldsymbol{\xi}, \eta, S) \equiv \boldsymbol{\nabla}\varphi + g^\alpha(\boldsymbol{\xi})\boldsymbol{\nabla}\xi_\alpha - \eta\boldsymbol{\nabla}S, \tag{9.10}$$

где $S_0(\boldsymbol{\xi})$, $\rho_0(\boldsymbol{\xi})$ и $g(\boldsymbol{\xi}) = \{g^\alpha(\boldsymbol{\xi})\}$, $\alpha = 1, 2, 3$ суть произвольные функции аргумента $\boldsymbol{\xi}$, а φ, η суть новые зависимые переменные, удовлетворяющие динамическим уравнениям

$$\frac{\partial\varphi}{\partial t} + \mathbf{u}(\varphi, \boldsymbol{\xi}, \eta, S)\boldsymbol{\nabla}\varphi - \frac{1}{2}[\mathbf{u}(\varphi, \boldsymbol{\xi}, \eta, S)]^2 + \frac{\partial(\rho E)}{\partial\rho} = 0 \tag{9.11}$$

$$\frac{\partial\eta}{\partial t} + \mathbf{u}(\varphi, \xi, \eta, S)\boldsymbol{\nabla}\eta = -\frac{\partial E}{\partial S}. \tag{9.12}$$

Если пять зависимых переменных φ, $\boldsymbol{\xi}$, η удовлетворяют системе уравнений (9.4), (9.11), (9.12), то пять динамических переменных S, ρ, $\mathbf{v}$ (9.8)–(9.10) удовлетворяют динамическим уравнениям (9.1)–(9.3). Неопределенные функции $S_0(\boldsymbol{\xi})$, $\rho_0(\boldsymbol{\xi})$, и $g^\alpha(\boldsymbol{\xi})$ можно определить из начальных и граничных условий таким образом, что начальные и граничные условия для переменных φ, $\boldsymbol{\xi}$, η были бы универсальными в том смысле, что они не зависят от течения флюида.

Последнее обстоятельство означает, что при описании в терминах гидродинамических потенциалов вся информация о движении жидкости содержится в динамических уравнениях и нет необходимости в задании начальных и граничных условий, коль скоро они могут быть универсальными. При описании в терминах перемаркировочно-инвариантных переменных S, ρ, $\mathbf{v}$ для получения полной информации о движении жидкости к динамическим уравнениям нужно добавить еще начальные и граничные условия. То обстоятельство, что динамические уравнения (9.11), (9.12) содержат в себе начальные и граничные условия, вводимые с помощью (9.10), является уникальным.

В соответствии с (9.9), (9.10) физические величины ρ, $\mathbf{v}$ получаются в результате дифференцирования переменных φ, $\boldsymbol{\xi}$, S, и переменные φ, $\boldsymbol{\xi}$, η можно интерпретировать как гидродинамические потенциалы. Этот способ описания можно называть описанием в терминах гидродинамических потенциалов (ГДП). Эти потенциалы связываются с именем Клебша [35, 36], который ввел их для описания несжимаемой жидкости.

Таким образом, игнорирование потенциалов $\boldsymbol{\xi}$ приводило к описанию в терминах перемаркировочно-инвариантных переменных $\rho, \mathbf{v}, S$ с помощью пяти уравнений (9.1)–(9.3). Описание в терминах гидродинамических потенциалов $\varphi, \boldsymbol{\xi}, \eta$ приводило к описанию с помощью пяти уравнений (9.4), (9.11), (9.12). Создавалось впечатление, что системы уравнений (9.1)–(9.3) с одной стороны и (9.4), (9.11), (9.12) – с другой эквивалентны и могут быть получены одна из другой с помощью замены переменных. То обстоятельство, что замена переменных дифференциальная в одну сторону, и соответственно интегральная – в другую, как-то в расчет не принималось.

Между тем, это очень важное обстоятельство. Дифференцирование потенциалов $\varphi, \boldsymbol{\xi}, \eta$ при замене переменных приводило к утрате информации о перемещениях частиц жидкости, описываемых уравнениями (9.4). Волновая функция содержит полную информацию о движении и перемещении частиц жидкости, поэтому ее можно построить из потенциалов $\varphi, \boldsymbol{\xi}, \eta$, и нельзя построить из перемаркировочно-инвариантных переменных $\rho, \mathbf{v}, S$. Понимание этого обстоятельства оказалось очень трудным как для меня, так и для других исследователей. Последнее проявилось в том, что когда (в 1998 году) соответствующая статья по интегрированию уравнений гидродинамики была направлена в Journal of fluid dynamics, то она была отклонена на том основании, что, по мнению рецензентов, переход от усеченной системы динамических уравнений (9.1)–(9.3) к полной системе (9.4), (9.11), (9.12) не содержит интегрирования, а только замену переменных.

Почему же мне удалось построить описание флюида в терминах волновой функции и тем самым решить задачу из области гидродинамики, где я заведомо был дилетантом? Я размышлял над этим вопросом и пришел к следующему выводу. Во-первых, я знал, что ищу и делал много безуспешных попыток, во время которых я разработал математический аппарат для работы с якобианами (якобианный формализм). Впоследствии, просматривая работы Клебша [35, 36], я обнаружил, что он тоже пользовался якобианным формализмом и открыл гидродинамические потенциалы. Он выписывал якобианы в развернутом виде, как это было принято в то время. Из-за этого формализм был громоздким, но я думаю, что несмотря на это Клебш открыл бы описание в терминах волновых функций, если бы в том была нужда. Во-вторых, я исследовал флюид просто как динамическую систему, поскольку практически не знал гидродинамики. Зато я не был обременен предрассудками, связанными с этим знанием. В частности, в гидродинамике переменные $\boldsymbol{\xi}$ хорошо известны под названием лагранжевых координат, которые употребляются исключительно в качестве независимых переменных. Употребление лагранжевых координат $\boldsymbol{\xi}$ в качестве зависимых координат я встретил только один раз в книге Фока [25], когда после второго курса изучал теорию относительности. Хорошо помню, как тогда меня поразили возможности, заложенные в таком описании.

Возвращаясь к проблеме преодоления АЗ.5 и АЗ.6, отмечу, что оба заблуждения были фактически преодолены в начале семидесятых годов. Осознание того, что статистическое описание можно и нужно строить на динамической основе (не используя теорию вероятностей) означало преодоление АЗ.5. Следующее отсюда понимание того, что квантовая механика есть статистическое описание стохастического движения микрочастиц имело своим следствием преодоление АЗ.6.

10 Принудительное отождествление $E = H$. Свидетельство участника о преодолении АЗ.7.

Преодоление АЗ.7 (Принудительное отождествление $E = H$) было первым из моих преодолений АЗ. Оно произошло в 1970 году и было произведено вполне сознательно на основе понимания того обстоятельства, что в релятивистской теории физическим объектом является мировая линия (МЛ или эмлон), а не точечная частица в трехмерном пространстве. Эту истину я почерпнул из книги Фока [25]. Позже я нашел подтверждение этой точке зрения в работах Штюкельберга [37] и Фейнмана [38]. Вообще, такая точка зрения вполне гармонировала с моим стилем мыслить геометрически. Возникла идея описать рождение частиц и античастиц в терминах классической релятивистской механики. Процесс рождения и аннигиляции частиц описывался поворотом мировой линии во временно́м направлении. Это было хорошо известно. Нужно было придумать такое внешнее поле, которое осуществило бы этот поворот. Ясно было, что добавляя произвольное поле к действию для заряженной частицы в заданном электромагнитном поле A_i

$$\mathcal{A}[q] = \int \left\{ -mc\sqrt{g_{ik}\dot{q}^i\dot{q}^k} + \frac{e}{c}A_i\dot{q}^i \right\} d\tau, \qquad \dot{q} \equiv \frac{d\dot{q}}{d\tau} \tag{10.1}$$

такой поворот было нельзя осуществить. Дело в том, что при повороте во времени мировая линия частицы становится пространственноподобной в месте поворота. С другой стороны под знаком радикала в (10.1) должна стоять неотрицательная величина. Это означает, что $g_{ik}\dot{q}^i\dot{q}^k \geq 0$ и, следовательно, мировая линия везде временинодобна (или изотропна). Для того, чтобы мировая линия могла быть пространственноподобной, нужно было ввести внешнее поле под радикал в (10.1), так чтобы выражение под знаком радикала оставалось положительным и в том случае, когда $g_{ik}\dot{q}^i\dot{q}^k < 0$. Я так и сделал, записав действие в виде

$$\mathcal{A}[q] = \int \left\{ -mc\sqrt{g_{ik}\dot{q}^i\dot{q}^k - \alpha f(q)} + \frac{e}{c}A_i\dot{q}^i \right\} d\tau, \tag{10.2}$$

где f есть внешнее поле, а α есть малый параметр, который в конце устремляется к нулю. В действии при надлежащем поле f выражение под радикалом могло оставаться положительным и при $g_{ik}\dot{q}^i\dot{q}^k < 0$. Оказалось, что при надлежащем выборе поля f мировая линия действительно поворачивает во времени, причем поворот сохраняется и при $\alpha \to 0$. Прямой расчет показывал, что при таком описании энергия частицы всегда была положительной, а временно́й компонент p_0 канонического импульса и заряд частицы $Q = e\text{sgn}(\dot{q}^0)$ зависели от знака производной $\dot{q}^0$, т.е. они были различны для частицы и античастицы. Несколько неожиданным было то обстоятельство, что заряд Q эмлона, определенный как источник электромагнитного поля соотношением $Q = \int \delta\mathcal{A}/\delta A_0(\mathbf{x})d\mathbf{x}$, не совпадал с постоянной e, входящей в действие, хотя при правильном описании это должно быть именно так, поскольку частица и античастица имеют противоположные заряды. Совпадения энергии E и p_0 можно было достичь, если разрезать мировую линию на отрезки, ответственные за частицы и античастицы, и изменить направление роста параметра τ на участках, ответственных за античастицы, оставив τ неизменным на участках, ответственных за частицы. Однако, при этом нужно было обязательно сопровождать изменение знака $\dot{q}^0$ изменением знака постоянной e. Но постоянная e является параметром динамической системы, и изменение знака e на участке, описывающем античастицу, означает, что частица и античастица рассматриваются как различные динамические системы.

Этот простой пример показывает, что есть две возможности описания.
(1) Рассматривать мировую линию (эмлон) как физический объект. Тогда частица и античастица суть два разных состояния эмлона, различающиеся знаками заряда Q и компонента канонического импульса p_0. Энергия положительна в обоих случаях, так что, вообще говоря, $E \neq H$. Частица и античастица описываются в рамках одной динамической системы.
(2) Рассматривать частицу и античастицу как два различных физических объекта, описываемые двумя различными динамическими системами. Параметр e является зарядом частицы и одновременно выполняет роль параметра динамической системы. Он различен для частицы и античастицы. При таком описании можно выбрать эволюционный параметр τ таким образом, чтобы обеспечить выполнение условия $E = H$.

Наложение условия $E = H$ автоматически обеспечивало фрагментацию мировой линии на частицы и античастицы, описывая их как различные физические объекты, т.е. в терминах различных динамических систем. Это было верно в классической физике. Это должно было быть верным и в квантовой теории.

Мне было непонятно, какая польза от отождествления энергии и гамильтониана. Какой смысл фрагментировать эмлон и получать вместо фиксированного числа физических объектов (эмлонов) неопределенное и несохраняющееся число частиц и античастиц? С формальной точки зрения работать с переменным числом объектов значительно труднее, чем с постоянным. Мне было очевидно, что невозможность обойтись без теории возмущений в КТП была связана в первую очередь с несохраняющимся по отдельности числом частиц и античастиц. Зачем, вообще, нужно было накладывать условие $E = H$ и тем самым ограничивать свои возможности, если это условие можно было не накладывать? (Над тем, что условие $E = H$ может оказаться несовместным с динамическими уравнениями, я тогда не задумывался).

Необходимо было обсудить работу с коллегами, занимающимися КТП, и я заявил доклад на семинаре теоретического отдела ФИАН, где тогда было много сильных теоретиков. Первое, что меня удивило при моем докладе на семинаре, это то, что никто не хотел верить в то, что эффект рождения пар можно описывать в терминах классической физики. Мои выкладки, хотя они были очень просты, вызывали недоверие у слушателей. Дело дошло до того, что было решено перенести мой доклад на следующее заседание, причем из числа участников семинар был назначен рецензент (В.Я. Файнберг), который должен был проверить мои расчеты и доложить о результатах проверки на том заседании, где будет продолжение моего доклада. Ошибок найдено не было, я благополучно закончил свой доклад на следующем заседании семинара, но у меня осталось впечатление, что основное внимание слушателей было привлечено к вопросу, можно ли описывать рождение пар в рамках классической физики, а основной вопрос об оправданности использования соотношения $E = H$ в КТП остался вне поля зрения. Соответствующая работа была опубликована [39], но, насколько мне известно, на нее никто не обратил внимания.

Нужно было проквантовать нелинейное релятивисткое поле, не используя условие $E = H$, и убедиться, что такой способ квантования имеет преимущества перед традиционным способом, использующим это условие. Оказалось, что такое квантование можно произвести, не используя нормального упорядочения и теории возмущений [1]. Ваккумное состояние оказывалось при этом стационарным. Возможность не использовать теорию возмущений производила впечатление. Однако, не буду лукавить и скажу прямо, что я не испытывал никаких иллюзий по поводу результатов работы. В то время (начало семидесятых годов) я считал, что задача релятивизации квантовой механики (т.е. объединение нерелятивистской квантовой механики с теорией относительности) не имеет решения. Я полагал, что квантовая механика – это что-то вроде релятивистского броуновского движения, и развивать релятивистскую квантовую теорию следует в направлении построения адекватного статистического описания этого релятивистского броуновского движения [40].

Работа по вторичному квантованию нелинейного релятивистского поля была предпринята исключительно с целью продемонстрировать, что традиционный путь развития КТП – это дорога в тупик. Логика моих действий была следующая. Квантуем нелинейное поле, используя только принципы квантовой механики (нерелятивистской) и игнорируя любые дополнительные предположения. Продвигаемся вперед настолько, насколько это окажется возможным. Была надежда, что квантование без использования теории возмущений позволит обнажить действительные проблемы КТП и, быть может, решить их.

Дело в том, что использование теории возмущений не позволяло не только точно решать задачи КТП, но и точно формулировать их. Задачи теории столкновений частиц были основными задачами КТП. Для формулировки этой задачи, нужно было четко сформулировать, что такое частица и что такое античастица. Согласно принципам квантовой механики для этого нужно было предъявить оператор N_{p}^i 4-тока частиц и оператор N_{a}^i 4-тока античастиц. После этого можно было формулировать задачу о столкновении частиц. К моему величайшему удивлению никто даже не пытался ввести подобные операторы, от вида которых зависел результат расчета столкновения частиц. Вместо этого следовали туманные рассуждения об отключении взаимодействия при больших временах $t \to \pm\infty$. Позже эти рассуждения были заменены на манипуляции с *in*- и *out*-операторами, что нисколько не проясняло постановку задачи о столкновениях.

Даже в превосходной математически строгой книге Ф.А. Березина [41] проблема столкновений ставилась в терминах возмущенного H и невозмущенного H_0 гамильтонианов системы, что соответствовало выключению взаимодействия при $t \to \pm\infty$. Разумеется, это было только отражением общей ситуации в КТП. Мои коллеги, работавшие в КТП, а на мой вопрос, как же можно мыслить в терминах теории возмущений, отвечали невразумительно. Я понимал, что не всякую задачу можно решить точно и готов был использовать любые приближенные методы (в том числе теорию возмущений) при том непременном условии, что задача поставлена в точных, а не приближенных терминах и понятиях. Ставить задачу в приближенных понятиях и терминах было выше моего понимания.

После того как нелинейное скалярное поле было проквантовано [1], результаты работы были доложены на семинаре теоретического отдела ФИАН. Хотя вторичное квантование было произведено без помощи теории возмущений, большинство слушателей сочли его неудовлетворительным на том основании, что при квантовании было нарушено условие

$$[\varphi(x), \varphi^*(x')]_- = 0, \qquad (x - x')^2 < 0 \tag{10.3}$$

интерпретируемое обычно как условие причинности. Действительно, если при квантовании не накладывать условие $E = H$, то коммутатор между динамическими переменными, разделенными пространственноподобным интервалом $x - x'$ может (а в некоторых случаях должен) быть отличным от нуля. Это лучше всего пояснить на классическом аналоге процедуры рождения пар, где рождение пары частица–античастица описывается временны́м зигзагом мировой линии. В этом случае коммутатору (10.3) соответствует скобка Пуассона. В случае наложения условия $E = H$ и квантования в терминах частиц и античастиц динамические переменные X и X' в точках, разделенных пространственноподобным интервалом $x - x'$, всегда относятся к разным динамическим системам, и поэтому соответствующая скобка Пуассона $\{X, X'\}$ (коммутатор) между любыми динамическими переменными X и X' в этих точках обращается в нуль. В случае квантования в терминах мировых линий динамические переменные X и X' в точках, разделенных пространственноподобным интервалом $x - x'$, могут принадлежать одной мировой линии, т.е. одной и той же динамической системе. Тогда переменные X и X' соответствуют разным значениям эволюционного параметра τ. В этом случае динамические переменные X в точке x выражаются через динамические переменные X' в точке x', и обязательно найдутся такие динамические переменные X_1 в x и X_2' в x', что скобка Пуассона $\{X_1, X_2'\}$ будет отлична от нуля. Условие (10.3) будет с неизбежностью нарушено.

Таким образом, выполнение или нарушение условия (10.3) является атрибутом описания. Оно совпадает с условием причинности (т.е. с некоторым объективно существующим соотношением) только при условии квантования с наложением условия $E = H$. К сожалению, мне не удалось убедить в этом моих оппонентов ни на семинаре, ни в личных беседах после семинара. Позже я понял, что в данном случае мы опять сталкиваемся с ассоциативным заблуждением, когда свойства описания объекта приписываются самому объекту. К сожалению, оказалось, что многие исследователи встречают затруднения при преодолении АЗ, и как я понимаю сейчас, в этом виновен П-стиль, используемый большинством исследователей КТП. Кроме того то, что условие (10.3) есть атрибут описания, а не условие причинности, очень трудно обнаружить, формулируя его в терминах квантовой теории.

Итак, АЗ.7 было преодолено мною, но оставалось неопреодоленным научным сообществом в целом. Я не видел необходимости в том, чтобы продолжать убеждать коллег отказаться от условия $E = H$ при квантовании. Во-первых, я убедился, что сам по себе отказ от $E = H$ не решает основных проблем КТП. Окрепла моя убежденность в том, что КТП не может решить проблему объединения КМ и СТО, что эта проблема неразрешима и что сама постановка этой проблемы является ошибочной. Во-вторых, я сам не знал точно, чем следует заменить проблему объединения КМ и СТО. У меня были только догадки на этот счет. Я не мог убеждать людей, занимающихся КТП и посвятивших этому существенную часть своей сознательной жизни, в том, что они идут по ошибочному пути. Делать это, не указав при этом правильного пути, было некоструктивно, бесполезно и даже жестоко.

Было еще одно важное обстоятельство, которое сильно повлияло на мои взаимоотношения с КТП и с моими коллегами, занимавшимися КТП. Дело в том, что с тех пор, как я обнаружил недопустимость наложения условия $E = H$, мне стало трудно читать работы по КТП. Когда я начинал читать какую-нибудь работу по КТП и обнаруживал, что там используется условие $E = H$ (а это было почти во всех работах), мое внимание самопроизвольно отключалось, и я не мог продолжить осознанное чтение. Чтение становилось машинальным, и мне требовались большие усилия, чтобы подключить внимание и сделать чтение осознанным. Мне трудно судить о том, в какой мере подобная реакция является моим индивидуальным свойством, но подобное отторжение работ, использующих условие $E = H$, привело к тому, что постепенно у меня возникла аллергия на чтение работ по КТП. Я перестал их читать, хотя всегда сохранял интерес к КТП, и при каждом удобном случае расспрашивал коллег о том, как происходит ее развитие.

Почему я относительно легко преодолевал АЗ? По-видимому, это связано с тем, что я был приверженцем К-стиля и инстинктивно игнорировал подходы, используемые П-стилем. Мне трудно сказать, была ли эта приверженность к К-стилю исследований врожденной или привита мне воспитанием и образованием. Однако, о том, что такая приверженность была, свидетельствует следующий факт.

В начале семидесятых годов я был ученым секретарем Института космических исследований АН. На этой должности я имел возможность заниматься любыми проблемами, какими хотел, и занимался проблемами КМ и КТП. Затем я оставил эту должность и перешел на должность старшего научного сотрудника в отдел Г.И. Петрова, который был тогда директором института. Теперь мне предстояло заниматься проблемами, связанными в той или иной степени с космическими исследованиями. Мне была предоставлена возможность выбрать область исследований по моему желанию с одним условием. Я должен был в течение полугода изучить литературу по выбранной мной тематике и сделать доклад на заседании семинара Г.И. Петрова, продемонстрировав тем самым свою готовность к проведению исследований в новой области.

Любая область физики, связанная с космической тематикой, была для меня новой, и я выбрал проблему построения модели магнитосферы пульсара и исследование механизма его работы. В семидесятых годах это была мало разработанная и перспективная область астрофизики. Феномен пульсара был обнаружен совсем недавно (в 1967 году), и были только первые соображения о том, как формируется излучение пульсара. Изучив в течение нескольких месяцев последнюю литературу по пульсарам, я сделал доклад на семинаре. Несмотря на то, что я был новичком и дилетантом в этой области, мой доклад был резко критическим и сопровождался предложением собственной программы исследований.

Мои претензии к авторам имеющихся работ состояли в том, что они вместо того, чтобы поставить задачу о магнитосфере пульсара и решать ее хорошо известными методами классической физики, занимались тем, что придумывали различные гипотезы с целью избежать трудных расчетов и попытаться угадать как устроена магнитосфера пульсара. По моим представлениям, гипотезы можно было выдвигать либо на самой ранней (эвристической) стадии исследований (а она уже была пройдена), либо после того, как задача поставлена и использованы все возможные методы ее решения. Задача была из области классической физики. Никаких принципиальных препятствий для ее постановки не было. Однако, почему-то большинство авторов не умели или не желали правильно поставить задачу. Вместо этого они выдвигали разные гипотезы, пытаясь сразу объяснить феномен пульсара, и спорили о том, чья гипотеза лучше. Другими словами, они просто использовали П-стиль в условиях, где он работает неэффективно и в нем нет необходимости.

Я же просто поставил задачу о магнитосфере пульсара так, как это следует делать исследователю, использующему К-стиль в своих исследованиях. По этой программе я работал в течение 1976 – 1987 годов (см. мою итоговую работу по модели пульсара [42]). При всем этом я не думал о возможных стилях исследования. Я просто полагал, что нужно по мере возможности честно исследовать физическое явление, а не ловчить, заменяя расчеты домыслами. Возможно, что моя инстинктивная приверженность к К-стилю была столь велика, что проникла в подсознание и порождала упомянутую выше аллергию на чтение работ по КТП.

Возможно, что мой успех в преодолении различных АЗ был обусловлен последовательным применением К-стиля, суть которого выражается словами Ньютона: "Я гипотез не измышляю".

11 Может ли кривая быть фундаментальным объектом в геометрии? Свидетельство участника о завершении преодоления АЗ.4.

Моя работа в начале шестидесятых годов с формализмом, основанным на мировой функции, показала, что такое описание геометрии нечувствительно к топологическим свойствам пространства. Например, метрический тензор двумерной евклидовой плоскости и цилиндра, полученного из полосы этой плоскости с помощью склеивания ее краев, был один и тот же. Однако, мировые функции были разные. Это указывало на то, что мировая функция описывает не только локальную, но и глобальную геометрию. Далее я обнаружил, что если из пространства удалить все точки кроме тех, которые имеют целочисленные координаты, то оставшиеся точки с целочисленными координатами образуют дискретную геометрию, которую можно было описывать в терминах мировой функции.

Я понимал также, что мировая функция содержит полную информацию о геометрии. В частности, для евклидова пространства я умел извлечь из мировой функции информацию о размерности пространства и построить декартову систему координат в нем, даже в том случае, когда пространство представляло собой абстрактное множество точек (а не многообразие). При таком построении использовалось понятие отрезка прямой между точками P и P' как множества точек R, удовлетворяющих уравнению

$$S(P,R)+S(R,P')=S(P,P') \qquad (11.1)$$

где $S(P,P')$ означает расстояние между точками P и P'. Я также понимал, что мировая функция евклидова пространства обладает особыми экстремальными свойствами. Именно благодаря этим экстремальным свойствам уравнение (11.1) описывало одномерную линию даже в n-мерном пространстве, хотя при произвольной функции $S(P,P')$ уравнение (11.1) описывает, вообще говоря, $(n-1)$-мерную поверхность. Однако, важности того, что такое определение отрезка прямой не содержит ссылки на понятие кривой, я тогда не понимал.

В моих тогдашних представлениях мировая функция была результатом интегрирования выражения, определяемого метрическим тензором. Это интегрирование обеспечивало связность между разными точками пространства.

Связность между точками сохранялась даже после удаления большинства точек пространства.

Свойство мировой функции обеспечивать связность между точками и ее экстремальные свойства казались мне очень важными. Осознание этого произошло где-то в середине шестидесятых годов. Мне хотелось написать об этом работу, но было неясно, где ее публиковать. Дело в том, что сам по себе этот результат без приложений представлялся мне недостаточно важным для того, чтобы его можно было опубликовать. Случай представился только в конце восьмидесятых годов. Мне удалось опубликовать в Journal of Mathematical Physics две статьи [43, 27], не имеющие отношения к геометрии. При публикации этих статей я был приятно удивлен благожелательным отношением редакции. Тогда у меня возникла идея, попробовать опубликовать работу о свойствах мировой функции, которая отражала бы мое возросшее понимание роли мировой функции в геометрии.

Работа была названа "Экстремальные свойства мировой функции Синга и дискретная геометрия". Ее приняли к публикации, но попросили, во-первых, добавить ссылки на современную литературу, а во-вторых, изменить используемое мной обозначение G мировой функции на общепринятое обозначение σ. Добавление ссылок на более поздние работы практически не изменило статьи. Мировая функция применялась в работах по квантованию гравитации, где важны "дальнодействующие свойства" мировой функции, но ничего, кроме разложения в ряд по степеням $x - x'$ в этих работах не использовалось.

Однако, формальная замена обозначения G на другое обозначение σ неожиданно привела к коренной переработке статьи. Дело в том, что тогда в СССР персональных компьютеров практически не было, и статья печаталась на пишущей машинке. Для замены обозначения нужно было перепечатывать статью. Коль скоро статью все равно надо перепечатывать, я решил внести в нее некоторые изменения и дополнения которые появились у меня за время, пока статья находилась на рецензии в редакции. В процессе переработки рукописи я осознал важность определения (11.1) отрезка прямой и пересмотрел характер изложения материала в работе. По существу получилась работа о построении новой геометрии, хотя термин Т-геометрия нигде в работе не использовался. В результате я столкнулся с тем, что название статьи уже не отражало ее содержание. Нужно было менять ее название.

В то время (1989 год) это было не простым делом. На отправление рукописи в иностранный журнал требовалось специальное разрешение Главлита, в котором фигурировало название рукописи. Для получения разрешения на отправление рукописи с новым названием, нужно было снова переводить статью на русский язык и отправлять ее в Главлит. Процедура получения нового разрешения заняла бы один – два месяца, и требовала перевода на русский язык и печатания на пишущей машинке нового варианта рукописи. Чтобы избежать этих проволочек я решил не менять названия статьи и опубликовал ее под прежним названием [8].

При переходе от римановой геометрии к Т-геометрии важно было преодолеть инерцию мышления и осознать, что роль прямой в геометрии может выполнять трубка. По-видимому, в преодолении инерции мышления помогли физические модели элементарных частиц. В некоторых моделях частица заменялась струной или мембраной, а их мировые трубки были соответственно двумерными и трехмерными поверхностями. Это означало, что в принципе в реальном мире трубки могут играть роль прямых. Психологически это был очень важный шаг в построении T-геометрии. Другим важным обстоятельством было то, что прямая (т.е. естественный геометрический объект, определяемый двумя точками) определялась как множество точек, обладающее метрическим свойством (11.1), т.е. без ссылки на понятие кривой. В римановой геометрии геодезическая определяется как кратчайшая кривая. При таком определении геодезической она не может быть трубкой, и использование понятия кривой при построении геометрии дискриминирует невырожденные геометрии, т.е. такие геометрии, где роль прямой играет трубка. Следует заметить что работа [8] имела в значительно степени переходный характер в том смысле, что она скорее описывала процесс перехода от римановой геометрии к T-геометрии, чем T-геометрию как таковую.

T-геометрия возникла вначале как обобщение римановой геометрии и сразу была использована как возможная геометрия пространства-времени [11]. Преимущества модели пространства-времени, основанной на T-геометрии, были очевидны. Во-первых, оказывалось, что геометрия зависит только от интервала между событиями и нечувствительна к непрерывности пространства-времени, которую невозможно проверить экспериментально. Во-вторых, в такой геометрии масса частицы геометризировалась, чего не было в геометрии Минковского. Наконец, естественным образом возникала стохастичность движения частицы, зависящая от ее массы, т.е. от геометрии. Все это говорило о "физичности" T-геометрии и о ее практической важности.

Двухметрический формализм, разработанный для риманова пространства, прекрасно работал в T-геометрии, позволяя исследовать ее в малом [20]. Но с практической точки зрения это было несущественно, потому что на мировые линии частиц с конечной массой влияло поведение мировой функции на конечных (а не на бесконечно малых) интервалах.

Хотя с созданием T-геометрии A3.4 было фактически преодолено, осознания этого факта еще не было. T-геометрия была первоначально получена как обобщение римановой геометрии, и риманова геометрия рассматривалась как частный случай T-геометрии. В частности, в работе [8] исследовался вопрос, какой должна быть мировая функция для того, чтобы происходило вырождение трубок в одномерные кривые и можно было построить многообразие.

Поначалу я полагал, что если мировая функция задана на многообразии и удовлетворяет уравнениям, которым должна удовлетворять мировая функция риманова пространства, то построенная на основе этой мировой функции T-геометрия будет римановой геометрией. На самом деле, это не так, потому что роль понятия кривой в построении римановой геометрии не исчерпывается построением геодезических. В римановой геометрии на понятии кривой основано кроме того определение параллельного переноса вектора.

Мой интерес к геометрии всегда имел прикладной характер. Геометрия интересовала меня как способ описания свойств пространства-времени. О геометрии как таковой я не задумывался, она всегда была для меня лишь инструментом, и меня волновала лишь эффективность этого инструмента. В соответствии со своим стилем исследований я не читал работ по геометрии, и меня волновал лишь один вопрос, не переоткрываю ли я уже известные результаты. Еще до публикации работы [8] я получил консультацию у одного из ведущих геометров СССР, который сказал, что вещами, близкими к Т-геометрии в СССР не занимается никто. После публикации работы я предпринял несколько попыток обсудить Т-геометрию с математиками. Математики, интересующиеся геометрией "в целом", охотно шли на такое обсуждение, и я сделал у них несколько успешных докладов по Т-геометрии. Как "изобрететель" Т-геометрии я был очень доволен, когда выяснилось, что она никогда ранее не строилась, и я постепенно начал догадываться, в чем причина этого. Причиной было АЗ.4, т.е. убежденность математиков в том, что понятие кривой есть фундаментальное понятие геометрии.

Мои доклады у математиков были очень ценны для меня. Во-первых, я несколько уменьшил свою геометрическую безграмотность, а во-вторых, постепенно начал понимать, что Т-геометрия является обобщением скорее метрической геометрии, чем римановой. При этом я обнаружил, что в современной математике классификация геометрий практически не производится, или производится по случайным признакам. Более того имелся даже разнобой в определении того, что такое геометрия. Например, известный математик Феликс Клейн [18] определял геометрию как концепцию, обязательно содержащую какую-нибудь группу симметрии, причем риманова геометрия заведомо не подходила под определение Клейна. Согласно Клейну ее следовало называть римановой топографией (или географией). А.Д. Александров [44] давал другое определение геометрии.

Вопрос систематики один из важнейших вопросов в любой науке, а в математике в особенности. Однако, он не интересовал меня в силу моего прикладного подхода к геометрии. Столкнулся я с ним при следующих обстоятельствах. С одной стороны Т-геометрия представляла собой очень общее геометрическое построение, основанное на одной только мировой функции. Топологические свойства оказывались при этом производными от метрических свойств геометрии, и с точки зрения Т-геометрии нельзя было независимо задавать топологические свойства пространства. С другой стороны в обобщенной римановой геометрии [45, 46, 47] сначала вводятся топологические свойства пространства и только после этого метрические, что с точки зрения Т-геометрии делать было просто нельзя. Вообще, насколько я мог понять, в настоящее время топология рассматривается как наиболее перспективное направление развития геометрии. В подтверждение этой точки зрения можно привести такой факт, что на мехмате Московского университета имеются три кафедры в названиях которых термины геометрия и топология фигурируют в разных сочетаниях.

Поскольку я усматривал противоречие между существованием Т-геометрии и топологии как наиболее перспективного направления в геометрии, то ситуацию нужно было прояснить в процессе обсуждений. Мои заявки на доклад по Т-геометрии на семинарах "наиболее геометрических" кафедр были отклонены на том основании, что это неинтересно участникам семинаров, интересующихся другими вопросами. Тогда я подготовил доклад "Геометрия без топологии" и и обратился в Московское Математическое Общество (ММО) с просьбой заслушать его на одном из заседаний.

ММО (очень авторитетная и уважаемая организация) ставит на своих заседаниях только очень важные доклады, прошедшие предварительное рецензирование. Рецензия на мою работу была отрицательной. Работа по Т-геометрии была признана рецензентом недостаточно фундаментальной и недостойной быть заслушенной на заседания ММО. Мне нужно было публичное обсуждене, и это было не совсем то, что мне было нужно. Однако, своей цели я все же достиг хоть и наполовину – я получил возражения и уяснил точку зрения специалиста наиболее компетентного в этом вопросе. Таким образом, я получил обсуждение, хотя и не публичное. Из его отзыва я понял, что в математике не существует классификации геометрий, и вопрос о "фундаментальности" той или иной геометрии всецело определяется вкусом рецензента.

Моя аргументированная апелляция на отзыв рецензента не была принята во внмание, однако важно было не это. Важно было то, что отрицательный отзыв и его аргументация заставили меня задуматься над тем, что понимается под "фундаментальностью" работы по геометрии. В результате я пришел к необходимости систематизации геометрий, ключом к которой было понятие концепции геометрии (КГ), как способа построения эталонной (собственно евклидовой) геометрии. Критерием общности КГ было то, в какой мере данная КГ использует для построения эталонной геометрии числовую информацию. Такая классификация КГ представлена в таблице на стр. 10. Из нее следует, что чисто метрическая КГ, порождает наиболее общий класс геометрий (Т-геометрий), тогда как у тополого-метрической КГ перспективы в этом отношении крайне неутешительны. Отзыв рецензента был датирован 7-ым ноября 2001 года. Результатом мой работы над ним была переработка заявленного доклада, который превратился в статью "Геометрия без топологии как новая концепция геометрии" [48]. Она была готова к концу 2000 года. Эта работа была логическим следствием моего полного преодоления АЗ.4.

Теперь я представлю хронологию моих преодолений АЗ.4 – АЗ.7 и попытаюсь найти причины того, что именно мне удалось преодолеть эти ассоциативные заблуждения. АЗ.5 – АЗ.7 были преодолены практически в одно и то же время в начале семидесятых годов XX века. Это преодоление было следствием моего понимания того простого утверждения, что физическим объектом является эмлон (мировая линия), а не частица. Из этого обстоятельства сразу следовало преодоление АЗ.5 и АЗ.7. Преодоление АЗ.6 было простым следствием создания статистической концепции квантовых явлений, которое в свою очередь было следствием преодоления АЗ.5. Таким образом, в конечном счете преодоление АЗ.5 – АЗ.7 было *логическим следствием моего понимания теории относительности.* Преодоление АЗ.4 происходило в течение очень длительного времени. Оно завершилось в самом конце восьмидесятых годов XX века. Тогда оно произошло в форме догадки. В виде логического следствия это преодоление произошло в самом конце 2000 года, когда было введено понятие *концепции геометрии* и нарисована таблица, приведенная на стр. 10.

В чем причина этих преодолений? Какими свойствами обладал я и не обладали другие исследователи? Я полагаю, что этими свойствами были:
(1) Мое понимание существа теории относительности. Я мыслил в терминах пространственно-временны́х схем, т.е. геометрически, а не в терминах релятивистской инвариантности как большинство исследователей. Я связываю это с тем, что изучал теорию относительности по книге В.А. Фока [25].
(2) В своих исследованиях я использовал К-стиль и был последователен в своих изысканиях. Для меня логическая последовательность концепции была важнее ее практических результатов.
(3) Во все время моей исследовательской деятельности у меня фактически не было научного руководителя. т.е. не было достаточно авторитетного для меня человека, который сказал бы, что, используя К-стиль, я поступаю неправильно и что следует пользоваться более прагматичным стилем исследований.
(4) У меня было достаточно уверенности в своих силах, чтобы идти тем путем, по которому вела меня логика, не оглядываясь на других исследователей, игнорируя авторитеты и то обстоятельство, что многие считали меня научным диссидентом.

Я привел те особенности, которые представляются мне необходимыми для преодоления ассоциативных заблуждений. Каждая из этих особенностей появляется достаточно редко. А появление всех их у одного человека является еще бо́льшей редкостью.

Если же кратко характеризовать мою исследовательскую деятельность, то надо сказать, что я *последовательно проводил идею геометризации физики, используя К-стиль*, и это вполне согласуется с общей тенденцией развития физики в XIX – XX веках.

12 Заключительные замечания

Итак, ассоциативные заблуждения (АЗ) сопровождают процесс познания. Хотя надо стремится к устранению АЗ, но, по-видимому, полное избавление от них, к сожалению, невозможно. В случае невозможности устранения АЗ его появление приводит к появлению дополнительных компенсирующих гипотез и построению компенсирующих (птолемеевых) концепций. Появление птолемеевых концепций приводит к выработке и развитию особого П-стиля исследований, наиболее пригодного для работы с птолемеевыми концепциями. П-стиль является одновременно способом исследования и способом мышления. С одной сторон он является "помехоустойчивым" (пригодным для работы с птолемеевыми концепциями, содержащими ошибочные положения), а с другой стороны – менее предсказательным, чем К-стиль. В течение определенного периода можно эффективно вести исследования, пользуясь П-стилем. Однако, наступает момент, когда птолемеева концепция перестает быть эффективной. Нужно находить и преодолевать соответствующее АЗ и возвращаться к К-стилю. Если П-стиль существовал довольно долго, и на его использовании было воспитано несколько поколений исследователей, то преодоление АЗ и возвращение к К-стилю, будет трудным и болезненным процессом. Нужно быть готовым к этому. После обнаружения АЗ последующий пересмотр существующих теорий может оказаться очень существенным. Если он касается геометрии пространства-времени, то пересмотр может привести даже к изменению мировоззрения. Переход от пространства-времени с изначально детерминированным движением частиц к пространству-времени с изначально стохастическим движением – это уже основа для изменения мировоззрения. Если раньше нужно было объяснять стохастичность, исходя из изначальной детерминированости мира, то теперь нужно поступать наоборот и объяснять детерминированные явления, исходя из изначальной стохастичности мира.

Список литературы

[1] Yu. A. Rylov, "On quantization of non-linear relativistic field without recourse to perturbation theory".*Int. J. Theor. Phys.*, **6**, 181-204, (1972).

[2] Yu. A. Rylov, "Pair production problem and canonical quantizationof nonlinear scalar field in terms of world lines", eprint hep-th/0106169.

[3] Yu. A. Rylov, "Dynamic disquantization of Dirac equation", eprint quant-ph/0104060.

[4] Yu. A. Rylov, "Spin and wave function as attributes of ideal fluid", *J. Math. Phys. 40*, 256-278, (1999).

[5] Б.В. Раушенбах, "Пусть спорят знатоки" в *Христианство и наука.* IX Международные Рождественские образовательные чтения. Сборник докладов конференции, Москва, 2001, стр. 153-170.

[6] K. Menger, Untersuchen über allgemeine Metrik, *Mathematische Annalen,* **100**, 75-113, (1928).

[7] L. M. Blumenthal, *Theory and Applications of Distance Geometry*, Oxford, Clarendon Press, 1953.

[8] Yu. A. Rylov, "Extremal properties of Synge's world function and discrete geometry." *J. Math. Phys.* **31**, 2876-2890, (1990).

[9] Ю. А. Рылов, Метрическое пространство: классификация конечных подпространств вместо ограничений на метрику, *Труды по анализу и геометрии*, Новосибирск, Изд-во Математического института. 2000, стр. 481-504,

[10] Ю. А. Рылов, "Описание метрического пространства как классификация его конечных подпространств." *ФПМ* (в печати).

[11] Yu. A. Rylov, Non-Riemannian model of space-time responsible for quantum effects. *J. Math. Phys.* **32**, 2092-2098, (1991).

[12] J. E. Moyal, Quantum mechanics as a statistical theory. *Proc. Cambr. Phil. Soc.,* **45**, 99, (1949). (Русс. пер. в сб. *Вопросы причинности в квантовой механике.* ред. Я. П. Терлецкого и А. А. Гусева).

[13] I. Fényes, Probability-theory foundations and interpretation of quantum theory. *Zs. f. Phys.*, **132**, 81, (1952). (Русс. пер. в сб. *Вопросы причинности в квантовой механике.* ред. Я. П. Терлецкого и А. А. Гусева).

[14] E. Madelung, "Quanten theorie in hydrodynamischer Form *Z.Phys.* **40,** 322-326, (1926).

[15] H. Everett *Rev. Mod. Phys* **29** 454 (1957); Reprinted in *Quantum Theory and Measurement* (Eds J A Wheeler, W H Zurek) (Princeton, N.J.: Princeton University Press. 1983)

[16] B. S. DeWitt, N. Graham (Eds) *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1973)

[17] S. S. Schweber, *An introduction to relastivistic quantum field theory.* Row, Peterson and Co. N.Y. 1961. (Русс. пер. С. Швебер, *Введение в релятивистскую квантовую теорию поля.* ИИЛ, Москва, 1963.)

[18] F. Klein, *Vorlesungen über die Entwicklung die Mathematik im 19. Jahrhundert* teil 1, Berlin, Springer 1926. (русс. пер. Ф. Клейн *Лекции о развитии математики в XIX столетии.* М; Л. Гостехиздат. 1937).

[19] *Математика XIX века* под ред. А.Н. Колмогорова и Ф.П. Юшкевича, Наука, Москва, 1981, стр. 57.

[20] Yu. A. Rylov, "Distorted Riemannian space and technique of differential geometry". *J. Math. Phys.* **33**, 4220, (1992).

[21] J. L. Synge, *Relativity: The General Theory*, North-Holland, Amsterdam, 1960. (русс. пер. Дж. Л. Синг, *Общая теория относительности*, ИИЛ, Москва, 1963).

[22] Ю. А. Рылов, "Описание риманова пространства с помощью конечного интервала". *Известия высших учебных заведений*, сер. мат. 3, 132, (1962).

[23] H.S. Ruse, "Taylor's theorems in the tensor calculus", *Proc. London Math. Soc.* **32**, 87, (1931).

[24] J. L. Synge, "A characteristic function in Riemannian space and its applications to the solution of geodesic triangles" *Proc. London Math. Soc.* **32**, 241, (1931).

[25] В. А. Фок, *Теория пространства, времени и тяготения.* ГИТТЛ, Москва, 1955.

[26] Yu. A. Rylov ,"Quantum mechanics as relativistic statistics. III: A relativistic particle in two-dimensional space-time". *Int. J. Theor. Phys.* **19**, 645, (1980).

[27] Yu. A. Rylov, "The equations for isentropic motion of inviscid fluid in terms of wave function", *JMP*, **30**, 2516-2520, (1989).

[28] L. de Broglie, "Sur la possibilité de relier les phénomenes d'interference et de diffraction é la théorie des quanta de lumiere." *Comptes Rendus* **183**, 447-448, (1926).

[29] D. Bohm, A suggested interpretation of the quantum theory in terms of 'hidden variables'." *Phys.Rev.* **85**, 166-179, 180-193, (1952).

[30] F. J. Belinfante, *A Survey of Hidden-Variables Theories*, (Pergamon, Oxford, 1973) and references therein.

[31] D. Bohm and B. J. Hiley, *Phys. Rep.* **172**, 93-112, (1989) and references therein.

[32] P. Holland, *The Quantum Theory of Motion*, (Cambridge University Press, Cambridge, 1993) and references therein.

[33] C .C. Lin, "Hydrodynamics of Helium II." *Proc. Int. Sch. Phys.* Course XXI, pp. 93-146, New York, Academic, 1963.

[34] R. Salmon, "Hamilton fluid mechanics". *Ann Rev. Fluid Mech.* **20**, 225-256, (1988).

[35] A. Clebsch, "Über eine allgemaine Transformation der hydrodynamischen Gleichungen", *J. reine angew. Math.* **54** , 293-312, (1857).

[36] A. Clebsch, "Ueber die Integration der hydrodynamischen Gleichungen", *J. reine angew. Math.* **56** , 1-10, (1859).

[37] E. C. G. Stueckelberg, *Helv. phys. Acta*, **15**, (1942).

[38] R. P. Feynman , Phys. Rev. **76**, 749-759, (1949).

[39] Ю. А. Рылов, "О связи между между вектором энергии-импульса и каноническим импульсом в релятивистской механике", *ТМФ*, **5**, 333-337, (1970).

[40] Yu. A. Rylov "Quantum Mechanics as a theory of relativistic Brownian motion" *Ann. Phys. (Leipzig).* **27**, 1-11, (1971).

[41] Ф.А. Березин, *Метод вторичного квантования*, Наука, Москва, 1965.

[42] Rylov, "Self-consistent model of the global structure of axially symmetric pulsar magnetosphere in massless approximation". *Astrophys. Sp. Sci.* **143**, 269, (1988).

[43] Yu. A. Rylov, "The algebraical structure of the electromagnetic tensor and description of charged particles, moving in the strong electromagnetic field", *JMP*, **30**, 521, (1989).

[44] А. Д. Александров, *Внутренняя геометрия выпуклых поверхностей.* ГИТТЛ. Москва, 1948.

[45] В. А. Топоногов, "Римановы пространства кривизны, ограниченной снизу". *УМН,* **14**, 87, (1959).

[46] А. Д. Александров, В. Н. Берестовский, И. Г. Николаев, "Обобщенные римановы пространства". *УМН,* **41**, вып. 3, 1, (1986).

[47] Ю. Бураго, М. Громов, Г. Перельман, "Пространства А.Д. Александрова с ограниченными снизу кривизнами". *УМН,* **47**, вып. 2, 3, (1992).

[48] Yu. A. Rylov, "Geometry without topology as a new conception of geometry", *IJMMS* (in print), e-print math.MG/0103002.