Теория струн и кризис в физике элементарных частиц*

Bert Schroer†

Этот перевод сделан с 3-ей версии (28.03.06).
Bert Schroer, тем временем, выпустил новую, 4-ю (05.10.06):
String theory and the crisis in particle physics
(a Samizdat on particle theory).
arXiv:physics/0603112 v.4
Accepted.
Invited contribution to a special volume of I.J.M.P.D.
Comment:
This is a reformulated presentation of an earlier version. Besides strengthening previous observations, it reflects also some changes in the authors viewpoint as a result of a three month (April-June 2006) participation in weblogs in which this issue was addressed.

Аннотация

В первой главе критически рассмотрена история теории струн, начиная с ее предшественника — бутстрапа S-матрицы, и кончая недавней книгой Сасскинда. Цель состоит в том, чтобы понять ее удивительную популярность, которая разительно противоречит ее незначительному физическому содержанию. Частично ответ следует из той гегемонистской идеологической позиции, которую некоторые защитники теории струн обычно занимают при ее представлении или защите. Во второй главе приведен ряд аргументов в пользу того, что главный принцип теории струн, достигающий своей кульминации во фразе, что она является “единственной игрой в городе”, несостоятелен. Он основан на неправильном представлении о КТП, как о зрелой теории, которая (не считая некоторых недостающих деталей) уже пришла к своему завершению.

1 Антология кризиса в фундаментальной физике

Не может быть сомнений в том, что после почти столетия внушительных успехов фундаментальная физика оказалась в глубоком кризисе. Хотя эпицентр землетрясения, колеблющего ее основы, расположен в области теории, его последствия не только начинают подрывать экспериментальную физику элементарных частиц и затрагивать смежные области фундаментальных исследований, они также ведут к роковым

*arXiv:physics/0603112, v3, перевод на русский язык В.О. Соловьева http://th1.ihep.su/soloviev/perevod/schroert.pdf, замечания и поправки приветствуются: soloviev@th1.ihep.su

†CBPF, Rua Dr. Xavier Sigaud 150, 22290-180 Rio de Janeiro, Brazil and Institut für Theoretische Physik der FU Berlin, Germany

философским последствиям. Не надо быть физиком, чтобы заметить, что происходит что-то странное, если уважаемые люди [1] пропагандируют отречение физики от тех полномочий, которые, со времен Галилея, Ньютона, Эйнштейна и главных творцов квантовой теории, заключались в демистификации природы с помощью рациональных математически выраженных понятий и поддающихся экспериментальной проверке следствий. Вместо "cogito ergo sum" появляется новый принцип: "Я существую, и поэтому мое существование говорит мне, какую вселенную из множества решений теории струн я должен выбрать, чтобы понять свой физический мир". Иными словами я вношу мое собственное существование в теорию, как своего рода граничное условие, или выражаясь более прямо, я интегрирую себя в теорию струн, чтобы заставить ее работать.

Обычно точные науки, и в частности, физика элементарных частиц, рассматриваются как вид человеческой деятельности, следующий своему особому пути. Полученные ими знания могут оказывать воздействие на философию, гуманитарные науки, развитие общества, но обратное влияние последних на фундаментальные исследования в физике обычно считается незначительным. Одна из задач этого эссе состоит в том, чтобы поднять вопрос, оправдано ли такое представление в глобализованном мире. Здесь я имею в виду прежде всего не утрату моральных ценностей из-за увеличивающегося числа фальсифицированных научных результатов или плагиата. Пока естественные науки соблюдают принцип верифицируемости, это не может пустить под откос их содержание. Опасность крушения физики элементарных частиц скорее исходит из гегемонистских тенденций монокультур, взращиваемых глобализованными группами в науке, при возрастающем нежелании и неспособности подвергать свои результаты критическому исследованию. Эти события вырисовывались в теории струн в течение долгого времени и наконец нашли явный выход в недавнем манифесте [1]. Прежде, чем я вернусь к тому, в какой степени теория струн и ее новое проявление отражает негативную сторону Духа времени (Zeitgeist), полезно рассмотреть некоторые имеющие отношение к делу эпизоды истории физики элементарных частиц.

Рождение релятивистской теории частиц неразрывно связано с работой Йордана "Квантование волновых полей (Quantelung der Wellenfelder)", которая образовала единое целое с многочастичным формализмом Дирака. Квантовая теория поля (КТП), согласно Йордану, опирается на параллелизм с классическими полями, что порождает квантование классической канонической структуры лагранжева формализма. Отношение Йордана к этому было более радикальным, чем Дирака, любая структура, которая вписывалась в классический полевой формализм, была для него потенциальным кандидатом на квантование, не требовалось, чтобы она принадлежала реально наблюдаемой классической физике[1], как того первоначально требовал Дирак. В свете этого примечательно, что спустя два года после своего открытия Йордан был не удовлетворен использованием того, что он назвал "классическими костылями" (klassische Kruecken) квантования и требовал более непосредственного (внутреннего, имманентного) доступа к физическому содержанию КТП [3]. Возможно неслучайно это произошло именно тогда, когда он вместе с Паули понял, что точечная природа квантовых полей, требует квантования (в отличие от квантово-механических наблюдаемых) довольно громоздких сингулярных объектов, что может вести к затруднениям при построении локальных взаимодействий. Но мечта Йордана о прямом и более автономном подходе осталась на долгое время невыполненной, история КТП между началом 1930-х и концом 40-х годов отмечена очевидно

[1]В [2] упомянуто, что к тому времени, когда геттингенская группа узнала о результатах Шредингера, Йордан уже имел версию полевого квантования.

неизлечимыми ультрафиолетовыми проблемами. Этот "ультрафиолетовый кризис" приводил ко многим спекулятивным и "революционным" идеям (некоторые из них кажутся весьма бредовыми, по крайней мере ретроспективно). В результате появления перенормированной теории возмущений Томонаги-Швингера-Фейнмана-Дайсона и ее немедленного физического успеха в квантовой электродинамике (КЭД), идеи эти были выброшены на свалку истории.

Несмотря на огромное техническое и концептуальное обогащение, перенормировка оказалась чрезвычайно консервативной по отношению к физическим принципам; не потребовалось вводить ни одного нового физического принципа, помимо тех, которые уже содержались (косвенно или непосредственно) в пред-перенормировке. Но без теории перенормировки и ее успешного применения к КЭД квантовая теория поля, вероятно, не смогла бы выжить в пантеоне физики. Но требование Йордана не было снято; напротив, перенормировка теории возмущений подняла его на более высокий уровень. Вместо ультрафиолетовой проблемы пред-перенормировки появилась новая проблема, стало ясно, что разделение на неперенормируемые и перенормируемые модели в теории возмущений было довольно техническим; оно основывалось на формальной процедуре квантования, которая требовала построения взаимодействий по примеру взаимодействия точечных свободных полей, не позволяя принципам, лежащим в основе КТП, проложить свой собственный путь. В результате оказалось невозможно решить, связано ли, и если связано, то как, формальное деление на перенормируемые и неперенормируемые модели с истинной границей между хорошо- и плохо- определенными теориями. Усложнял ситуацию тот факт, что нельзя было понять даже, действительно ли соответствует разумно смотрящееся перенормируемое семейство моделям, которые в каком-либо математическом смысле существуют, так чтобы мы, по крайней мере, знали, что наши принципы допускают нетривиальную реализацию. Никуда не исчезла и та проблема, что самая успешная теория физики элементарных частиц — КЭД, является также и самой математически хрупкой. В таких теориях, как теория струн, которые в глазах струнных протагонистов должны заменить КТП, все становится еще хуже. В этом случае кроме проблемы существования имеется еще концептуальная трудность — невозможность извлечь из специальных рецептов характеризующие принципы.

При том, что теория перенормировки (несмотря на ее ключевую роль в построении нового ультрафиолетово-контролируемого вычислительного метода) в действительности не внесла ни одного нового физического принципа, ее ковариантная формулировка способствовала глубокому пониманию соотношения поле-частицы. Оно заменило релятивистскую квантово-механическую постановку (базис старых учебников Вентцеля и Гайтлера), которая оказалась неподходящей для этой задачи[2]. В новой постановке можно было получить в пределе больших времен асимптотическое соотношение, которое проясняло связь между частицами и полями, не призывая на помощь теорию возмущений; возникшая в результате теория рассеяния LSZ (Леман-Симанзик-Циммерман. — Примечание переводчика.) оказалась прямым следствием принципов [4]. Результатом этого концептуального продвижения стало то, что асимптотические состояния частиц и матрица рассеяния получили статус действительно имманентных величин, тогда как квантовые поля (кроме порождающих симметрии токов) потеряли отпечаток индивидуальности, который они имели в классической физике до квантования. Действительно, существует бесконечно много способов выбора координатизации поля, они могут быть сгруппированы в локальные классы

[2]Квантово-механическая точка зрения на соотношение поле-частицы стала проблематичной после того как Фарри и Оппенгеймер заметили, что присутствие взаимодействия сделало невозможным пространственно-временное разделение однополевых состояний $A(x)\,|0\rangle$ на одночастичные состояния и состояния поляризации вакуума.

эквивалентности, из которых каждый представитель описывает те же самые частицы, зарядовые числа которых и инварианты пространственно-временных представлений (масса, спин) связаны с классом (состояние частицы однозначно связано с классом, а не с полем). Углубление понимания соотношения поле-частицы привело также к возрождению идеи Гейзенберга (которая в оригинальной форме обсуждалась на нескольких конференциях незадолго до начала Второй Мировой войны) исследовать возможность прямого построения S-матрицы, минуя полевую трактовку теории; таким образом надеялись получить несингулярный и более прямой способ исследовать физику элементарных частиц. Из-за отсутствия конкретных результатов интерес к этим работам пропал и появился снова только в 1950-х и 1960-х годах, в связи с некоторыми непертурбативными достижениями, последовавшими за теорией перенормировки (они, главным образом, стимулировались желанием сделать КТП пригодной для описания сильных взаимодействий). Применение дисперсионных соотношений Крамерса-Кронига к релятивистскому рассеянию частиц и связанный с этим более общий интерес к аналитическим свойствам амплитуд рассеяния и (электромагнитных) формфакторов поддерживали (преувеличенную, как оказалось позже) надежду на то, что многие динамические аспекты могут быть поняты как соотношения самосогласованности между аналитическими свойствами и разумными предположениями об асимптотическом поведении при высоких и низких (пороговых) энергиях. Первоначально цели этих исследований были весьма скромны, физики уже были удовлетворены, преуспев в получении поддающихся экспериментальной проверке правил сумм из коммутационных соотношений для токов и аналитических свойств (прототипом были правила сумм Томаса-Куна, сыгравшие важную роль в переходе от старой к новой квантовой теории).

Самым важным пост-гейзенберговским концептуальным обогащением теории S-матрицы (возникшим первоначально из графической формулировки, которую Фейнман придал перенормированной теории возмущений) стало "свойство кроссинга", часто называемое (злоупотребление языком) кроссинг-симметрией. Его off-shell версия является формальным свойством, которое связывает одни графы рассеяния с другими, полученными путем перекрещивания внешних линий во входящих и выходящих конфигурациях; в определенных случаях оно могло быть подтверждено вне теории возмущений, при изучении "аксиоматически выведенного" аналитического поведения, следующего из локальности и положительности энергии. Для on-shell величин, таких как амплитуды рассеяния или формфакторы токов, подобные выводы весьма затруднительны (для тех конфигураций, для которых они вообще возможны); часто on-shell свойства кроссинга просто постулировались с целью исследовать их наблюдаемые следствия, оставляя вопросы их происхождения из причинной связи и спектральных принципов КТП на будущее. Разумеется, это стандартная практика — использовать интересные свойства как рабочую гипотезу, даже если вы еще не владеете их концептуальным выводом[3] из известных принципов; единственная проблема состоит в том, что по прошествии времени, получив в свое распоряжение лучшее концептуальное понимание и математические инструменты, мы забываем об их проблематичном статусе.

Пиком физической моды конца 50-х стала, так называемая, "программа бутстрапа S-матрицы", которая дала вторую жизнь (после первой попытки Гейзенберга) важному, но не полностью понятому свойству кроссинга; она сохраняла за собой ведущую роль и в течение 60-х. Некоторые из ее пунктов были весьма разумны, но

[3]Догадка, что кроссинг on-shell — реликт, оставленный нам пространственноподобной (анти-)коммутативностью, весьма вероятна, но к настоящему времени ей нет никакого математического подтверждения (см. замечания в следующей главе).

человеческая слабость раздавать преувеличенные обещания (“теория всего”, кроме гравитации) и возвращение в силу КТП в виде неабелевых калибровочных теорий привели к ее упадку. Среди нескольких ценных ее качеств — внимание, которое она привлекла к тому, что подход on-shell (если он будет успешным) не только свободен от ультрафиолетовых проблем, но также явно не зависит от бесконечного числа вариантов точечных полевых координатизаций (ведущих все к той же самой физике); в этом смысле она впервые обратилась (вместе с независимо появившейся алгебраической КТП) к требованию Йордана об имманентности описания (отказ от классических костылей). Акцент на имманентном (т.е. внутреннем. — Примечание переводчика.) описании известен в математике; он лежит в основе инвариантного описания современной дифференциальной геометрии, освобождающего геометрию не только от использования сингулярных координат, но от использования любых координат вообще. Это надо понимать только как аналогию (т.е. использование современной дифференциальной геометрии при формулировке КТП не делает последнюю более имманентной), потому что реализация имманентности в КТП оказывается намного более радикальным шагом, чем в дифференциальной геометрии. Но антагонистический агрессивный тон, с которым основная философия бутстрапа выдвигалась против КТП (“КТП походит на смертельно раненного солдата, умирающего на поле битвы…”), подорвал доверие к ней в глазах многих физиков, и по моему мнению, основанному на ретроспективном взгляде, это на несколько десятилетий задержало интересный шанс обогатить КТП добавлением новой точки зрения (см. следующую главу).

Так как не существовало операторного формализма, в котором могли бы быть реализованы основные идеи (инвариантность, унитарность, кроссинг, максимальная аналитичность), проблема построения кроссинг-симметричной унитарной максимально аналитичной S-матрицы была плохо сформулирована. Возясь со свойствами бета-функций и их представлений через гамма-функции, Венециано сумел построить первую модель кроссинг-симметричной упругой амплитуды рассеяния. Его предложение не удовлетворяло унитарности, но понимание, что это on-shell предписание допускало вспомогательное теоретико-полевое описание в терминах операторов двумерной конформной теории поля (off-shell), и что оно также допускало представление в терминах канонического квантования классического релятивистского лагранжиана струны Намбу-Гото, значительно увеличивало его теоретическую привлекательность. Все это также поддерживало надежду, что модель может быть унитаризована на более поздней стадии. Основную популярность модель, однако, приобрела среди феноменологов сильных взаимодействий, которым на самом деле (по причинам, которые в настоящее время едва ли кто помнит) понравилась идея удовлетворить кроссинг бесконечными башнями промежуточных состояний одной частицы (дуальность есть кроссинг с одной частицей) без участия многочастичных континуумов рассеяния, как того требует S-матрица, полученная из КТП. Вкупе с феноменологическим использованием идей полюсов Редже, появившиеся картинки траекторий (зависимости массы от спина) имели определенное феноменологическое очарование, и хотя бесконечные башни частиц вызывали некоторую теоретико-полевую головную боль[4], не было никаких причин отклонять это как феноменологическое предположение, охватывающее некоторые аспекты сильных взаимодействий, а возможные отношения с известными принципами могли проясниться и после феноменологических успехов.

[4]Если число частиц, т.е. устойчивых объектов, не остается конечным (бесконечное множество их преобразуется в полюса на втором листе римановой поверхности), появляются неприятности с локальностью (это можно заметить в контексте d=1+1 факторизующихся теорий).

Дело осложнилось, когда феноменологическая интерпретация в терминах траекторий Редже для амплитуд рассеяния сильных взаимодействий была оставлена, а взамен была предложена новая гравитационная интерпретация на уровне планковского масштаба (“Варфоломеевская ночь” старой дуальной модели теории струн, Джоел Шерк и др. (J. Scherk et.al), 1975 год, Париж). Новое предложение состояло в том, чтобы придать теории струн (из-за присутствия спина два и видимого отсутствия вызывающих тревогу ультрафиолетовых расходимостей) статус фундаментальной теории на масштабе массы Планка $\sim 10^{19}$ ГэВ, т.е. истинной Теории Всего (Theory Of Everything (TOE). — Примечание переводчика.), на сей раз включающей в себя и гравитацию. Имея в виду, что проведение границ фундаментальной теоретической физики (и в частности, физики элементарных частиц) является по своей природе делом тонким, нельзя удивляться весьма спекулятивным и радикальным аспектам этого предложения; мы знаем из истории, что подобным образом возникли некоторые из наших самых успешных теорий. Что нас беспокоит в этом эпизоде — это скорее его некритический прием. В конце концов, в истории физики нет подобного прецедента столь чудесного преобразования идеи, рожденной феноменологически для лабораторных энергий, в Теорию Всего, просто сдвигом масштаба энергий на 15 порядков кверху и изменением терминологии, без изменения математических и концептуальных основ[5]. Можно было ожидать, что спекулятивной идее, которая потеряла свое феноменологическое обоснование и вместо этого взлетела в концептуальные “небеса” (“blue yonder”) над КТП, будет уделено, хотя бы некоторое, критическое внимание, подобное тому, с которым теоретики элементарных частиц анализировали предыдущие ситуации очевидных концептуальных конфликтов новых предложений с принятыми принципами. Что бы там ни говорили, а в прошлом столетии антиномии и парадоксы становились источниками больших концептуальных достижений; часто результаты их разрешения оказывались важнее, чем отдельно взятая оригинальная идея. К сожалению, этого не случилось с теорией струн. Времена критиков калибра Паули давно прошли, и новая любовная интрига между физиками и математиками, плодом которой явилось сотрудничество Атьи и Виттена, была нацелена скорее на обнаружение красоты и гармонии (между дифференциальной геометрией и топологией с одной стороны и искусством евклидового функционального интеграла со стороны КТП), чем на задачу превращения антиномии между известными структурами локальной квантовой физики и новыми спекулятивными идеями в новый прорыв. Энтузиазм по поводу нового золотого века в отношениях между математикой и теоретической физикой элементарных частиц был взаимным, но как мне кажется, основанным на глубоком недоразумении. Физики были увлечены глубиной современной дифференциальной геометрии и топологии, свободной от координатизации, и начали писать статьи, в которых они объясняли своим коллегам-физикам, что нового они узнали и как это может быть использовано для квазиклассических применений функционального интеграла[6]. С другой стороны, математики оказались под впечатлением геометрической мощи некоторых вычислительных орудий физиков. Они начали со страхом смотреть на евклидовы функциональные интегралы и часто находить математически строгими способами подтверждения догадок, возникших

[5] Отдельные геометрические усовершенствования пришли много позже и в действительности не изменили сути дела.

[6] Представление евклидова функционального интеграла, как и близко связанное с ним каноническое квантование являются формальными искусственными построениями, приобретающими математический смысл при квазиклассической трактовке; однако перенормированные корреляционные функции в строго перенормируемых теориях не представимы таким образом (только их бессмысленные неперенормированные аналоги формально совместимы с представлением функционального интеграла).

из этих формальных инструментов, используемых физиками. Очень немногие математики (например, Воган Джонс (Vaughn Jones)) на самом деле понимали, что их коллеги строят свои красивые здания на руинах физики элементарных частиц. Интересное геометрическое содержание теории струн способствовало довольно некритической поддержке, которую она получила даже от весьма уважаемых людей. Это, на мой взгляд, было историческим началом моды на свободные и непоследовательные размышления, которая наконец, почти три десятилетия спустя, привела к сложению полномочий с того, что раньше было фундаментальной физикой. Как уже упоминалось, этот процесс эрозии недавно вышел наружу в полупопулярном антропном манифесте Сасскинда (L. Susskind).

Прежде чем более пристально рассмотреть социологические изменения, которые пришли к нам вместе с растущей популярностью теории струн, весьма поучительно исследовать происхождение ее несколько запутанной терминологии. Историческая причина, по которой "дуальная модель" (после замены парадигмы, теперь, предположительно, включающей гравитацию) превратилась в теорию струн, не имела никакого отношения к квантовой локализации в пространстве-времени, а была связана с бесконечным спектром масс "башни" частиц, к которому приводит каноническое квантование свободной классической релятивистской струны; собственно квантовая локализация, например, канонически квантованной струны Намбу-Гото, несмотря на ее классическое происхождение, не похожа на струну, а скорее является точечной (подробнее об этом будет сказано ниже и в следующей главе), — вот первое указание, что взлелеянное сходство между классической и квантовой локализацией ограничено точечными объектами. В частности, популярные евклидовы рисунки труб не могут интерпретироваться как развитие во времени физически подобных струне ограниченных объектов. Оправданы опасения, что все это может создать концептуальную кашу в головах у начинающих, если их специально не предупредить, что терминологию не следует путать с физическим содержанием. Но самый последний продукт не может породить этой путаницы, так как теперь теория получает имя М-теории, просто взятое из алфавита больших латинских букв, но далеко не в качестве предупредительной меры от нанесения ущерба ее хилому содержанию. Предлагается (согласно Виттену) интерпретировать М, например, как "Мистерию" (а также Матрицу, Мать, Магию, короче, Истинную Теорию Всего). Интерпретация подобная этой облегчает мои попытки описать в этом эссе теорию струн а-ля-Сасскинд как возвращение к схоластической ре-мистификации природы, имевшей место до Галилея, Ньютона и Эйнштейна, и придающей значение тому, сколько вакуумов соответствует струне (сравни: сколько ангелов умещается на острие иглы).

В этом эссе я буду утверждать, что на самом деле кризис не может быть понят на языке физики, если не принять во внимание социологические преобразования все более и более глобализованного сообщества физиков — последователей этих идей. Мое общение со струнными теоретиками отмечено, правда, определенной дистанцией, так как моя философия в основном осталась "вильсоновской", в том смысле, что действительность, на мой взгляд, состоит из бесконечно многих оболочек, асимптотически инклюзивных теорий (подобно слоям, вероятно бесконечной, луковицы). Возможно несколько расходясь с Кеном Вильсоном (не знаю его мнения на этот счет), я полагаю, что каждая оболочка может быть описана концептуально полным и математически строгим образом, т.е. одна лишь математическая самосогласованность не требует знания следующего слоя (непостижимая эффективность математики, в смысле Вигнера). Фактически попытка сгрести детали следующего слоя в параметр обрезания могла бы математически быть даже контрпродуктивной[7]. Иными слова-

[7]Заметьте, что проблема с существованием теории струн, во всяком случае, намного хуже; невоз-

ми, я полагаю, что 70-летняя слабость незнания, действительно ли те объекты, о которых мы говорим в КТП, существуют, будет преодолена; я действительно думаю (см. замечания в следующей главе), что тот день, когда КТП получит тот же концептуальный статус, что и другие области физики, не очень далек; хотя в настоящее время КТП еще не завершена.

Я не принимаю основную идею теории струн о том, что ТОЕ вообще возможна. Фактически идея, что Господь Бог Эйнштейна (который не играет в кости) позволит некоему струнному теоретику найти завершение фундаментальной физики (так, чтобы на оставшиеся дни интерес человечества к материальному миру кончился интеллектуальной скукой, или в лучшем случае, был переключен на ремесленную работу над некоторыми все еще недостающими деталями, или, возможно, включен в категорию индустрии развлечений) кажется мне просто смешной. Идеи подобные этой вероятно будут цитироваться историками отдаленного будущего в качестве демонстрации гордыни и интеллектуального (не обязательно личного) высокомерия Духа времени прошлого. Лучшее, что можно сделать для иллюстрации этих утверждения — цитировать заявления струнных теоретиков. Одна цитата, которой вероятно уважаемый молодой (но очевидно, очень незрелый) струнный теоретик (Lubos Motl. — Примечание переводчика.)[8] имел обыкновение заканчивать свои сообщения в дискуссионные группы выглядит следующим образом [7]:

Суперструна/М-теория — это язык, на котором Бог написал мир.

Всякий раз, когда я смотрел на эту строку (я бросил это делать 3 года тому назад, поэтому не знаю, обладают ли все еще изречения вроде этого популярностью), мне на память приходил один старый лимерик. Он родился в довоенной Праге, носительнице разных культур, где после исполнения "Тристана и Изольды" Вагнера под управлением маэстро по имени Motl, один искусствовед написал на следующий день в газете вместо обычного критического разбора следующее[9] (к сожалению, его нельзя перевести с немецкого языка на английский без полной потери очарования):

Gehe nicht zu Motl's Tristan
schau Dir nicht dieses Trottels Mist an,
schaff dir lieber 'nen drittel Most an
und trink dir mit diesem Mittel Trost an

Не слушай ты Мотля "Тристана",
А лучше напейся допьяна.
Пол-литра возьми
И с другом прими —
Утихнет душевная рана.[10]

Сколь велика разница между этим Богом, который должен следовать за логикой теории струн (возможно, потому что "нет никакой другой игры в городе", см. следующую главу) и Господом Богом Эйнштейна! Тот, кому Бог позволил снять копию со своего проекта мира, конечно не должен беспокоиться о земном, об экспериментальных проверках и т.п. ; у того же, кто остался обычным человеком, не имеющим этой копии, и хочет проверить результаты данной божественной теории старомодным пу-

можно даже дать ей внутреннюю характеристику, единственное, что имеется в нашем распоряжении — это кулинарные рецепты.

[8] Как в религиозной области, есть конечно риск задеть чьи-то чувства. Но без свободы выражений это эссе потеряло бы в своей сути и убедительности

[9] Я обязан читателю указанием, что "viertel" в моей первоначальной версии должен быть заменен на "drittel". Я прошу извинить меня за то, что вызвал это временное искажение самого прекрасного примера немецкого Schuettelreim, но старая мера (Schoppen=1/3) больше не используется в мои годы; в настоящее время это 1/4.

[10] перевод Соловьева В.О. с подстрочника Борняковой И.В.

тем экспериментов и наблюдений, нет никаких шансов, так как он никогда не сможет добраться до энергий необходимого масштаба. Даже теоретическое сравнение с *существующими* принципами квантовой теории поля невозможно, потому что теория струн известна нам только в виде рецептов, которые сопротивляются внутреннему описанию на базе принципов. Эта ситуация не имеет прецедентов в истории физики.

Струнные теоретики предлагают свои известные сдвигающие масштаб аргументы, чтобы показать, что лагранжева полевая теория — это только низкоэнергетическая сноска к теории струн. Но эти аргументы не заменяют *структурного* сравнения. Чтобы проиллюстрировать, что имеется в виду под "структурным", рассмотрим несколько аналогичное соотношение между квантовой механикой и КТП. Структурная причина этого соотношения в том, что *существуют релятивистские полевые операторы, которые при однократном применении к вакууму создают одночастичные состояния без примеси вакуумной поляризации.* Это свободные бозе/ферми поля . Если бы мы жили в (d=1+2) мире анионов и плектонов (частиц со статистикой группы кос), нерелятивистская версия оказалась бы не квантовой механикой, а скорее квантовой теорией поля[11] с нерелятивистским законом дисперсии. Применимость квантовой механики к физическому миру связана с тем, что сохранение числа частиц совместимо с релятивистской связью спина со статистикой для бозонов и фермионов. Невозможно применить такие структурные аргументы к теории струн, потому что рецепты не заменяют принципов и то, что мы много знаем о принципах, характеризующих КТП, здесь не помогает.

Для читателей, которые хотят познакомиться со струнно-теоретической лестью в ее самом чистом виде, я рекомендую статью в Википедии [8], где находится следующий пассаж:

В 1990-х годах Эдвард Виттен и другие нашли убедительные свидетельства того, что различные теории суперструн являются различными пределами неизвестной 11-мерной теории, названной М-теорией. Эти открытия произвели вторую суперструнную революцию. Когда Виттен предложил имя М-теории, он не определил, что обозначает буква "М", по-видимому, из-за того что он не чувствовал за собой права называть теорию, которую он не был в состоянии полностью описать. Предположения, что означает "М", стали своего рода игрой среди физиков-теоретиков. "М" иногда, говорят, означает Мистерию, или Магию, или Мать. Более серьезные предположения включают Матрицу или Мембрану. Шелдон Глэшоу отметил, что "М" могло бы быть "W" вверх тормашками, означая Witten. Другие предложили, чтобы "М" в М-теории означало Отсутствующая, Чудовищная, или даже Темная. Согласно самому Виттену, как показано в документальном фильме компании PBS (Public Broadcasting Service. — Примечание переводчика.), основанном на "Элегантной Вселенной" Брайена Грина, "М" в М-теории значит "волшебная, тайная, или матричная, по вкусу."

Видя такие проявления школярской лести и приметы развлекательного ток-шоу[12]

[11] Квантово-механические анионы Вильчека (как и дионы Ааронова-Бома) нарушают связь спина со статистикой для аномальных значений спина; одно из следствий этого нарушения — то что результирующая мульти-дионная квантовая механика не допускает описания на основе фоковского пространства при вторичном квантовании. Истинные анионы, однако, остаются теоретико-полевыми для всех энергий и никогда не теряют свои облака поляризации вакуума (даже при отсутствии подлинных взаимодействий). При аргументации, построенной на формальном сдвиге масштаба, легко пропустить эту тонкую структурную особенность.

[12] автор статьи в Wikipedia сообщил мне, что я неправильно понял смысл его замечаний относительно интерпретации М, главная цель состояла в том, чтобы показать читателям неопределенность предмета. Но я тоже читатель и немного иронии мне не помешает. Если я единственный, кто неправильно интерпретировал это как лесть, поданную путем хвастливой мистификации (которая является, по крайней мере, намерением Брайена Грина, скромная входная плата за спекулятивное

мы почти согласны рассматривать первую фразу этой статьи: *теория струн — модель фундаментальной физики, стандартные блоки которой — одномерные протяженные объекты (струны), а не нуль-мерные точки (частицы)*, т.е. стандартную вводную мантру, используемую струнными теоретиками, как беззаботный языковый ляп, а не потенциальный источник неправильных представлений. Уже упоминалось выше, что хотя верно, что обобщение классической струны Намбу-Гото (чья канонически квантованная версия — "мать" струнно-теоретической переформулировки дуальной модели Венециано) — действительно релятивистская струна в пространстве-времени, дело обстоит не так для ее канонически квантованных копий. Единственное собственное определение квантово-релятивистской локализации — это проверка, не исчезает ли коммутатор первоначального объекта с объектом, сдвинутым в другое положение, если второй объект имеет форму струны и входит в причинную область влияния первого. Квантовая локализация — автономное свойство и то, что она совпадает с классической — это одно из самых удачных совпадений; Йордану с его квантованием поля, действительно, очень повезло. Эта квантовая проверка локализации была сделана (даже теоретиками струны), и результат оказался отрицательным [9], [10]; коммутатор соответствует коммутатору двух точечных объектов, расположенных в центрах масс *предполагаемых струн*. Но вычисление коммутатора, подобно лакмусовой бумажке, определяет имеет ли слово "струна" собственно квантовый смысл. То, что теория струн не выдерживает эту проверку, не является полной неожиданностью, так как описание с помощью струны является строго *вспомогательным*, оно принадлежит классической стороне кулинарного рецепта построения специфической кроссинг-симметричной (и в конце концов, как мы надеемся, унитарной) S-матрицы, и конечно, не имеет такого концептуального физического статуса как обобщение интерполирующих точечных полей LSZ-теории рассеяния на струно-подобное гейзенбергово поле. Без использования теории рассеяния в пределе больших времениподобных интервалов (или точечных или полубесконечных струноподобных локализованных взаимодействующих полей) отношения S-матрицы с локальностью являются очень косвенными (и были замечены только недавно с помощью понятия модулярной локализации для областей типа клина [5], см. также комментарии в следующей главе). Релятивистские струнно-локализованные квантовые объекты, которые могли бы заменить интерполирующие точечные поля, и вспомогательные конструкции струнных теоретиков — совсем разные вещи. Все, что мы знаем о них, можно резюмировать следующим утверждением: *квантовые струнно-локализованные объекты* (например, квантовые "поля", стоящие за вигнеровскими представлениями нулевой массы и бесконечного спина) *не допускают представления в терминах лагранжева квантования, а с другой стороны квантование классических (типа Намбу-Гото) струн не приводит к квантовой струнной локализации.* Это может, на первый взгляд, быть шоком даже для обычных полевых теоретиков, ожидавших, что метод квантования (т.е. желание иметь подобие с классическими структурами) имеет общую применимость, выходящую за рамки точечной локализации. Рассматривать менее сингулярное, более внутреннее описание "без классических костылей", как делал Йордан, это одна проблема, а сталкиваться с концептуальным барьером, который не позволяет рассматривать определенный квантовый объект как квантованную версию классического аналога — другая, более удивительная. Теория струн основана на гипотезе, что геометрические аспекты и свойства локализации сохраняются квантованием, даже если выйти за рамки точечных полей.

Есть другой результат, на сей раз не относящийся к локализации, который подчеркивает строго вспомогательный характер значения слова "струна" в теории струн.

содержание выглядела бы иначе), я отрекусь от своих замечаний.

Было известно, что струна Намбу-Гото является интегрируемой системой. Было найдено бесконечное семейство законов сохранения и их скобки Пуассона. Один из важных результатов, известных, в частности, из ранней работы Фаддеева по интегрируемым системам, состоит в том, что легче достичь (непертурбативного) решения, если непосредственно квантовать замкнутую систему алгебраических соотношений со скобками Пуассона для полного набора сохраняющихся зарядов. Но что делать в ситуации, когда квантование этих зарядов приводит к результатам, противоречащим[13] стандартному каноническому квантованию, как это имеет место для струны Намбу-Гото[11]? Ответ: построение S-матрицы на основе дуальной модели *требует канонического квантования*, так как понятие струны — это только удобный способ вычислений для воспроизведения спектра масс в виде башни дуальной модели; вопрос о том, что является правильным квантованием физической струны, может быть интересным, но он несущественен в этом контексте, так как струна в теории струн — это только вычислительная уловка, чтобы найти лагранжеву упаковку дуальной модели с ее бесконечной башней масс. Иначе говоря, вторично квантованная теория поля Намбу-Гото — это специфическая бесконечно-компонентная теория.

Высказанные выше замечания не должны быть неправильно поняты как призыв к запрету спекулятивных идей. Запросы физики элементарных частиц в определенных ситуациях требуют взмывать "в небеса", и риск оказаться без экспериментальной поддержки и в ситуации, когда концептуальное отношение к установленным принципам остается неясным, является оправданным. Самый тревожный аспект теории струн (в меньшей степени — теории суперсимметрии) заключается не в том, что она превратилась в модный предмет без опытного обоснования, или что она не в состоянии выяснить свой концептуальный статус относительно принципов КТП (которая остается, несмотря на неполноту, лучшей точкой отсчета); были разные модные течения и прежде (бутстрап S-матрицы, полюса Редже…), привлекавшие большое внимание и страдавшие теми же недостатками. Но в прошлом имелся достаточный критический потенциал, чтобы предотвратить такую конденсацию вокруг модной монокультуры[14]. Положение вещей радикально изменилось в том, что уважаемые и влиятельные физики, критическое суждение которых могло бы иметь успокаивающее воздействие на запутывающуюся ситуацию, оказывают некритическую поддержку этим тенденциям, и таким образом, сами становятся частью проблемы. Физика элементарных частиц была в своем расцвете, когда у руля физики элементарных частиц находились такие физики как Паули, всецело посвятившие себя истине. Сейчас все это привело к ситуации, когда работы в этой области представляются в так называемые "журналы с высоким импакт-фактором", редакционная коллегия которых уже состоит из людей, узко специализированных по "горячим темам" (если не непосредственно связанным с теорией струн, то по крайней мере в ее духе), но неспособных (нехватка общей физической культуры) оценить что-либо еще, не следующее глобализованной линии.

Главное отличие теории струн в том, что она (вместе и в союзе с суперсимметрией) является первой теорией, которая несмотря на вышеупомянутые ошибки сумела выжить в течение более чем трех десятилетий. После столь долгого перерыва твердая концептуальная основа КТП, которая была нужна для продвижения вперед вместе с теорией струн к прорыву и решению загадок в местах структурных противоречий с КТП (или для того, чтобы похоронить ее, как это было сделано с несколькими

[13] Между прочим, инвариантное квантование струны Намбу-Гото не выделяет никакого специфического измерения пространства-времени.

[14] Прекрасный пример эссе, критического по отношению к некоторым наростам программы бутстрапа S-матрицы, и блестящую иллюстрацию весьма компетентной научной полемики можно обнаружить в [12].

другими неудавшимися теориями прежде), потеряна или (для более молодых струнных теоретиков) никогда и не существовала. С другой стороны, те квантово-полевые теоретики, у кого эта основа имеется, не мотивированы входить в детали того, что они считают, вероятно, еще одной неудавшейся теорией; кроме того они знают, что ввиду сектантского идеологического настроения их критические замечания не приветствовались бы. Физика элементарных частиц в прошлом успешно поддерживала свое единство, несмотря на использование широко различающихся концепций и математических инструментов, но теперь это единство быстро исчезает.

Есть связанная с этим социологическая проблема. Если идея, которая способствовала карьерам многих физиков, живет в течение столь долгого времени, она приобретает иммунитет от критики. Я думаю, что никто спустя столько лет всерьез не ждет, что один из тех, кто вложил более трех десятилетий в работу над этой теорией, породившей десятки тысяч публикаций, но неспособной вступить в контакт с реальной физикой, выйдет и скажет: "Простите, ребята, уж так вышло".

Теории, которые занимают умы так долго, избегают критического отклика и живут собственной жизнью. К сожалению, у нас нет никакого опыта обращения с подобной проблемой в прошлом, из которого мы могли бы узнать, как защитить содержание фундаментальной физики от этих новых тенденций. Но нетрудно, по крайней мере, описать их в виде следующих 5 тезисов:

1. Фундаментальное знание о теории элементарных частиц, и в особенности о КТП, утрачивалось и продолжает утрачиваться.

2. Исследования в теории струн делаются и продаются глобализованными группами, не встречая независимой критической оценки.

3. Новички в физике элементарных частиц преждевременно обрабатываются весьма спекулятивными и спорными идеями, это происходит до того как их критическая иммунная система получает шанс развиться путем исследования концепций КТП.

4. Теоретики струны отвергают таинственную силу антиномий и структурных противоречий; статьи, которые содержат теоремы, не соответствующие их предубеждениям, просто игнорируются. Литература по теории струн состоит главным образом из вычислений, основанных на определенных рецептах и предположениях, практически отсутствуют попытки обеспечить теории концептуальную основу.

5. Много рабочих мест в области теории элементарных частиц отдается струнным теоретикам. Есть серьезные основания беспокоиться, что это может иметь долговременные отрицательные последствия для всей физики элементарных частиц.

Мое свидетельство в пользу этих утверждений основано на следующих аргументах.

При общении с членами младшего поколения физиков часто приходится удивляться, что они очень мало знают о больших концептуальных достижениях пост-перенормировочной эры 1950/60. Хотя рецепты технологии перенормировки обычно являются частью их практических знаний (возможно, потому что это делает струнные рецепты более приемлемыми), концептуальные достижения, такие как вывод нестационарной теории рассеяния из требований причинности (LSZ, Haag-Ruelle), так же как и тонкости в соотношении поле-частицы, остаются вне их багажа знаний.

По-видимому, они были заменены дифференциальной геометрией (в евклидовой постановке) и такими специальными идеями как возможное использование многообразий Калаби-Яо в физике элементарных частиц. Необязательно быть старомодным, чтобы беспокоиться о таких тенденциях. К сожалению, те учебники КТП, которые были написаны ветеранами теории струн, подчеркивают характер КТП как книги кулинарных рецептов. Почему те, для кого S-матрица является только результатом кулинарных рецептов теории струн, должны упоминать о глубоком и красивом результате, что теория рассеяния является следствием пространственно-временной причинности и вытекающих из нее свойств кластеризации? Это требует затрат времени и может оказаться контрпродуктивным для маркетинга теории струн, так как может подорвать веру в нее.

Чтобы проиллюстрировать второй пункт вышеупомянутого списка, полезно напомнить, что в прежние времена существовало четкое разделение между авторским актом творения и критической оценкой его содержания коллегами. В настоящее время авторы часто входят в глобализованную группу, они распространяют инновационную идею среди членов этой группы, прежде чем она достигает определенной зрелости. Это имеет два следствия, с одной стороны идея изменяется и ее первоначальное содержание может раствориться, а с другой стороны, шансы на то, что работа получит критическую оценку с независимой точки зрения, значительно уменьшаются. Наиболее вероятным видом критики при такой установке является критика, возникающая из идеологического сражения между двумя разными глобализованными группами, а не критика по существу. Представьте себе только, что общая теория относительности Эйнштейна возникла бы в такой социологической среде. Вместо того, чтобы бороться в течение многих лет с известной "hole проблемой" и продумывать ее в одиночку, он преподнес бы ее другим членам такой глобализованной группы. Тема вошла бы в электронные письма и электронные дискуссионные группы, и результатом, возможно, было бы полное замешательство на многие годы. Другая опасность, исходящая от больших групп, интересы которых концентрируются на продвижении монокультур физики элементарных частиц, состоит в том, что они имеют тенденцию управлять редакционными коллегиями так называемых "журналов с высоким импакт-фактором" и своими предубеждениями наносить ущерб тематике исследований в физике элементарных частиц. Самый легкий способ получить список "кто есть кто" в администрации кризиса физики элементарных частиц — это посмотреть на редакционное правление нового электронного журнала, такого как JHEP (Журнал Физики Высоких Энергий. — Примечание переводчика.).

Третий пункт списка, возможно, самый серьезный. Теория, которая более 30 лет неспособна выяснить свое отношение к физике, представляется студентам-физикам как теория всего, как превосходящая КТП, прежде чем их критические способности будут развиты понятиями и открытыми проблемами самой успешной теории физики элементарных частиц. Чтобы получить впечатление о том, в какой степени уже стерты границы между образованием и идеологической обработкой, поучительно бросить взгляд на лекции для первокурсников о теории струн, предлагаемые MIT (Массачусетский Технологический Институт. — Примечание переводчика)

(http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Physics/8-251Spring-2005/CourseHome/index.htm).

Позвольте нам объяснить четвертый тезис на конкретном примере. КТП в ее существующем состоянии в большинстве случаев не способна дать убедительное доказательство гипотезы о *конкретной* лагранжевой модели. Но если эта модель является частью большего класса моделей, которые могут быть характеризованы определенными структурными свойствами, мы находимся в намного лучшей ситуации. Пример — догадка Малдацены о возможной связи между специальной конформной теорией (суперсимметричная калибровочная модель) и определенной гравитационной анти-де-ситтеровой (AdS) моделью. Эта догадка не была доказана, и согласно нашему первому тезису, сомнительно, что ее когда-нибудь вообще удастся доказать. Но так как связь между AdS-QFT и конформной теорией на ее границе является легко устанавливаемым структурным (модельно независимым) фактом, есть интересный шанс придумать математическую теорему о том, *какое структурное свойство с конформной стороны подразумевает/исключает соответствующее свойство со стороны AdS.* Строгий результат структурного исследования состоит в том, что стандартная конформная квантово-полевая теория, описанная в терминах точечных полей (например лагранжева КТП) соответствует со стороны AdS довольно странной КТП, которая не имеет достаточного числа степеней свободы, для того чтобы быть представимой в терминах лагранжевых точечных полей. Наоборот, если начинать со стандартной теории со стороны AdS, то получается слишком много степеней свободы на конформной стороне, так что снова невозможно связать эту структуру с любой (калибровочной) лагранжевой КТП. Следовательно, если гипотеза Малдацены была предназначена для того, чтобы связать две стандартные лагранжевы полевые теории, то теорема этому противоречит. Если же гипотеза использует со стороны AdS теорию струн, то сказать ничего нельзя, потому что структурные свойства теории струн неизвестны. Итак, если быть оптимистом, можно предположить, что гипотеза верна и попробовать выделить структурное свойство теории струн, которое делает это возможным; я не знаю ни одной подобной попытки. Но по прошествии 30 лет вероятно более реалистично полагать, что структурные свойства, подобные тем, что можно было установить из принципов КТП, возможно, никогда не будут доступны в теории струн, потому что она навсегда может остаться собранием предписаний, никогда не приводя к основным физическим принципам. Нехватка структурного понимания, возможно, не является результатом ограничений со стороны струнных теоретиков, а скорее может указывать, что никакой последовательной теории в стандартном смысле этих слов за струнными предписаниями не стоит.

Среди тысяч статей по AdS-CFT есть три, которые обращаются к этой проблеме, но струнное сообщество проигнорировало их. Я думаю, это результат не сознательного акта, а фактической потери понимания того, что такое структурные теоремы. В этой ситуации почти неважно, является ли это простым невежеством или следует из горделивого сознания наличия в своем распоряжении TOE; короче, это видимое проявление глубокого самопроизвольного кризиса в физике элементарных частиц. Пользуясь одобрением (вместо острых критических споров) намного легче увеличить импакт-параметр для своей карьеры. Существующая система присвоения высокого импакт-параметра публикациям в определенных журналах, которые поддерживают модную тему, *одобряет восхваления и наказывает попытки искать антиномии и критические точки* (и, таким образом, проводить исследования в духе лучших наших традиций). Как упоминалось выше, нетрудно узнать, кто есть кто в администрации кризиса теории элементарных частиц. Никакая теория до теории струн не приводила к такому глубокому расколу в физике элементарных частиц; струнные теоретики имеют проблемы не только в общении с их более скромными конкурентами из петлевой гравитации (loop gravity — тема работ группы Аштекара. — Примечание переводчика.), но также и те части КТП, которые имеют более концептуальную природу и меньше подходят в качестве непосредственных вычислительных рецептов для определенных моделей (но очень эффективны для понимания структуры семейств моделей) находятся вне круга интересов струнных теоретиков. Фактически, единство физики элементарных частиц, возможно, уже потеряно.

В последнем пункте списка выражается беспокойство о будущем физики элементарных частиц. Зная человеческую природу, мы считаем крайне маловероятным, чтобы струнные теоретики высокого полета, наслаждающиеся социальным успехом и признанием как в своей глобализованной группе, так и в средствах массовой информации, смогли проявить интеллектуальную скромность, которая нужна, чтобы расчистить свой стол и начать что-то новое; более реалистично ожидать, что нынешняя ситуация сохранится или даже ухудшится.

В прошлом фундаментальная физика доказала свою замечательную независимость от внешнего давления, ни нацисты, ни сталинисты не смогли подчинить ее основополагающую философию своим идеологиям. Но нынешнее состояние ее здоровья кардинально зависит от того, смогут ли работающие физики защитить ее от определенных тенденций, которые уже доминируют в нашей жизни благодаря экономической гегемонии глобализованного капитализма. Теряет ли наука свою автономию, и подходим ли мы к концу пути, начатого Планком и Эйнштейном? Недавняя книга Сасскинда [1] выдвигает эти вопросы на первый план. Чтобы спасти судьбу теории струн от роли своего рода гигантского флогистона 20-го века (устаревшая теория сгорания, принятая до Лавуазье), он предлагает изменить смысл того, что составляет науку и переопределить то, что делает аргумент научным.

Попытки искать социологические причины за заменами парадигм в физике не новы. После открытия квантовой механики Формен (P.Foreman) [13] предложил социологическое объяснение того, почему эти новые идеи возникли в разрушенной войной Германии. Он выдвинул довод, что необычный новый индетерминизм, который возник из вероятностной интерпретации квантовой теории, мог быть продуман в необходимой радикальной манере только людьми, которые видели как был разрушен их старый мир. Согласно Формену, те, кто был глубоко затронут мраком и роком (gloom and doom) Духа времени, выраженным во влиятельной книге Шпенглера "Закат Европы" (которая широко читалась в послевоенной Германии), имели лучшие стартовые условия для того, чтобы оказаться в состоянии рассматривать новый вид механики, в которой важную роль играли нарушения причинности, индетерминизм и вероятность.

Это не кажется слишком убедительным. Физика в разрушенной войной Германии оставалась сильной автономной наукой, и квантовая механика не имеет никакого отношения к шпенглерову мраку; фактически, влияние иногда шло в обратном направлении, т.е. непонимание новых событий в физике приводило к вводящим в заблуждение философским и социологическим интерпретациям[15]. Если Вы хотите найти следы Духа времени в физике, нужно меньше смотреть на предмет исследования и больше на манеру, в которой физики строят свои аргументы и преподносят полученные результаты; в реальном социологическом исследовании был бы уместным вопрос, поддерживает ли физик традиционную самокритичную манеру или делает уступки силам неолиберальной глобализованной рыночной экономики, где эксплуатация средствами массовой информации развлекательного фактора обещает мгновенную награду и признание. Теория струн служит превосходной иллюстрацией власти, которую пиар (PR = public relations. — Примечание переводчика.) приобрел в физике элементарных частиц. Ее отрицательное влияние — результат не только весьма спекулятивного содержания и нехватки наблюдательных подтверждений (в этом она схожа с предыдущими модными течениями). Более опасными для будущего физики элементарных частиц являются попытки ее главных действующих лиц превратить эти недостатки в достоинства и постараться убедить начинающих, что нет никакой другой "игры в городе". То, что такие попытки имеют шансы на успех, тесно связано с концептуальным замешательством, которое началось уже при рождении этой теории и укрепилось в результате нескольких "революций", прошедших за более чем

[15] Известно, что Эйнштейн не любил термин "относительность", потому что его главное достижение служило идентификации инвариантов, которые являются независимыми от наблюдателя.

30 лет ее существования. Концептуальная пыль, которую это оставило на каждом из перекрестков ее метаморфоз, предотвратила возврат ко многим интересным открытым проблемам, оставшимся позади; никогда прежде столь много вычислений не делалось на столь мутном концептуальном основании. Есть, конечно, кроме того и человеческий фактор, который можно назвать "синдромом питбуля" [16]: вложив почти 30 лет своей научной жизни в создание теории струн, ее главные герои больше не могут разжать челюсти. В результате мы должны быть готовы к тому, чтобы еще долго сосуществовать с теорией струн, с ее подпоркой — суперсимметрией, с ее некоммутативным отпрыском и с прочими вещами, обозначенными большими латинскими буквами. Что подумает физик 100 лет спустя, когда он войдет в физическую библиотеку (предполагая, что неэлектронные публикации еще будут существовать) и пойдет по коридорам, глядя на эти длинные полки, заполненные сотней тысяч публикаций по суперсимметрии, теории струн и связанным с ними предметам? Будут ли у него те же мысли, что возникают у нас, когда мы обозреваем большие достижения, сделанные 100 лет назад? Или они будут больше напоминать мысли, возникающие у нас, когда мы смотрим на публикации времен флогистона в теории сгорания до Лавуазье (которая была неверна *несмотря на* то, что она объясняла некоторые наблюдения)?

Так как гордость, доминирование и невежество кажутся признаками гегемонистского нового Духа времени, и физика, кажется, не осталась им незатронутой, может быть интересно узнать, существует ли современный аналог критических социо-философских исследований Шпенглера. Фундаментальная критика современности чрезвычайно трудна из-за трудности понять, как посреди столь цивилизованной культуры с внушительными вкладами в музыку, искусство, литературу и науку могут иметь место чудовищные преступления геноцида. Именно это является отправной точкой критического анализа современности Теодора Адорно [14]. Та часть, которая, по моему мнению, относится к искусствам и наукам — это его "Диалектика Просвещения" (с Максом Хоркхаймером), его более поздние эссе о "Кантовской критике чистого разума" так же как и "Негативная Диалектика"[17]. В фокусе — механизм, которым рациональность и просвещение могут обратиться в иррациональность. Адорно иллюстрирует свои идеи главным образом при помощи искусства и философии, но я думаю, что применение к науке и в особенности к кризису в физике элементарных частиц возможно и могло бы пролить больше света на вопросы, поднятые в этом эссе.

[16] pittbull — боевая собака, которую разводили в Великобритании в течение Второй мировой войны. Ниже определенного порога подстрекательства она ведет себя как нормальная собака, за этим пределом она неспособна разжать челюсти.

[17] Эти труды имели огромное воздействие на послевоенную философию и социологию в Германии, но (вероятно, потому что они используют все средства немецкого языка и философии) они не сыграли сравнимой роли в англосаксонской культурной сфере.

2 Действительно ли “единственная игра в городе”?

> Парень, свихнувшийся на игре, каждую ночь проигрывает в покер последнюю рубашку. Ему говорят, что игра подстроена, чтобы отправить его в богадельню. А он отвечает измученно: да знаю я, знаю. Но это единственная игра в городе.
>
> Курт Воннегут “Единственная игра в городе” [15]

Эту цитату из рассказа Курта Воннегута Питер Войт (Peter Woit) [16] недавно использовал в одной из глав своей будущей книги, названной “*Даже не неправильно: крах теории струн и сохраняющийся вызов — объединить законы физики*” (использована известная фраза, которой Вольфганг Паули характеризовал идеи, которые не обладали даже свойствами заслуживающей внимания ошибки или просто не удовлетворяли научному критерию фальсифицируемости). Самым видным струнным теоретиком, который использовал фразу “нет никакой другой игры в городе” в интервью, когда научные журналисты спросили его об альтернативах, был Дэвид Гросс; мы конечно не знаем, приходят ли (несмотря на иное социальное положение) и ему иногда мысли персонажа Воннегута.

В данной главе я хочу показать читателю, почему это утверждение неверно; социологическая сторона проблемы: отчего так много физиков, по всей видимости, соглашаются с этими словами, уже была рассмотрена в главе предыдущей. Чтобы не уходить в сторону от главной цели — дать ответ на вопрос, поставленный в названии главы (а не использовать критику теории струн как повод для пропаганды подходов, привлекавших мое внимание в последнем десятилетии), я буду скуп на ссылки; если читателю потребуется больше информации, он не затруднится найти более адекватные источники.

Мои примеры альтернативных “игр” отличаются от предлагаемых Питером Войтом; в частности, я меньше верю в применения дифференциальной и алгебраической геометрии в физике элементарных частиц. Вследствие этого я также вижу историю сотрудничества Атьи и Виттена в несколько ином свете. На поверхностном уровне, глядя на ранние работы Виттена (например, об экранирующих эффектах инфракрасных облаков и фазовом переходе Kosterlitz-Thouless), я склонен видеть отрицательное влияние скорее в направлении, противоположном тому, в каком видит его Войт. Но на более глубоком уровне, мне кажется весьма затруднительным комментировать сложные отношения между двумя такими выдающимися учеными, и я предпочитаю оставить последнее слово историкам науки, тем более, что оно ничего не дает для предмета нашего обсуждения.

Я предлагаю пересмотреть некоторые старые нерешенные глубокие концептуальные и математические проблемы, затерявшиеся в пыли, оставленной несколькими, так называемыми, революциями. Я считаю, что применение к таким проблемам новых мощных концептуальных и математических инструментов продвинутой КТП дает наилучшие надежды на преодоление существующего кризиса. Этот третий путь[18]

[18]Для нашего обсуждения первый путь обозначает спекулятивный взлет в небеса и концептуальное и математическое оправдание a posteriori; второй путь связан с катализатором эксперименталь-

становится особенно важным, когда два первых пути терпят неудачу (например, потому что длительное спекулятивное путешествие в небеса приводит к потере концептуальной ориентации, как это случилось с теорией струн, или потому что непостижимая эффективность описания с помощью большого числа параметров при концептуальном дефиците привела нас в тот лабиринт, каким является реальность стандартной модели); второй путь экспериментальных открытий не дает никаких новых ключей (так как эксперименты при высоких энергиях больше не являются автономными исследованиями, а все больше зависят от степени совершенства доминирующей теории). Этот третий путь требует существенных теоретических ресурсов, и он, конечно, труднее, чем путь, основанный на произвольных спекуляциях. Его главный инструментом являются споры по острым вопросам (включая мысленные эксперименты), при помощи которых очевидные концептуальные антиномии и разрывы в сегодняшних фундаментальных представлениях будут доведены до точки прорыва, чтобы взамен существующих могли появиться новые структуры. Переход от старой квантовой теории (с ее прочным экспериментальным фундаментом) к новой квантовой механике иллюстрирует силу этого метода. Первый шаг состоит в том, чтобы понять, что квантовая теория поля, за пределами высокоразвитой техники перенормировки теории возмущений, осталась в значительной степени незаконченной наукой; невзирая на ее струнно-теоретическую карикатуру. Помимо некоторых общих структурных следствий из основных принципов (TCP, связь спина со статистикой, DHR [Доплихер-Хааг-Робертс. — Примечание переводчика.] теория секторов суперотбора), я не считаю ни одну проблему КТП успешно решенной и действительно закрытой, в том смысле, в каком это было давным-давно сделано в других областях фундаментальной физики, например, в квантовой механике. Пост-перенормировочные исследования в КТП оставили нам огромное количество полусырых результатов, даже в тех областях, где теория была очень успешной в описании наблюдений. Третий путь в КТП прежде всего состоял бы в построении для нее внутренней формулировки и методов вычислений, которые были бы не просто предписаниями, а следовали бы непосредственно из основных принципов.

Я уже коснулся некоторых из этих вопросов в предыдущей главе, когда упоминал призыв Йордана к более имманентной формулировке КТП без "классических костылей" и прерванный подход бутстрапа S-матрицы как потенциальное начало переформулировки КТП on-shell. Позвольте напомнить здесь также о классификации элементарных частиц на основе представлений группы Пуанкаре с положительной энергией, данной Вигнером в 1939 году, как о первом полностью внутреннем способе построить квантовую физику (без взаимодействий), избегая использования классических параллелей. Хотя этот результат имел огромную концептуальную ценность, он был, конечно, слишком ограниченным для того, чтобы привлечь широкое внимание, так как не было сказано ничего о том, как включить взаимодействие. Прекрасная во всем остальном трактовка содержала, однако, одну концептуальную занозу. В то время как связи большинства представлений с конечными энергиями и лагранжева квантования свободных полей были, в течение следующих двух десятилетий, поняты на основе перемешивания между каноническими представлениями Вигнера и их ковариантными аналогами, имелись довольно большие семейства с положительными энергиями, сопротивлявшиеся попыткам включить их в подход лагранжева квантования. Для большого семейства бесконечного спина[19] имело место много неудачных попыток нескольких поколений физиков включить это представление в

ных открытий.

[19] Для этого семейства "малая группа Вигнера" является двумерной евклидовой группой, неприводимое унитарное представление которой приводит к непрерывному спектру значений Казимира, соответствующему бесконечной (полу)целой "башне спиральностей".

подход точечных полей, что, наконец, нашло объяснение в теореме несуществования (No-Go theorem) [17]. Оставшийся вопрос о том, что является лучшей (самой острой) локализацией, совместимой с бесконечной башней спиральностей, привел к новому понятию струнной локализации в общем контексте локализации модулярной [18],[19]. Струнно-локализованные поля — это операторно-значные обобщенные функции $A(x,e)$, флуктуирующие относительно двух пространственных переменных. Здесь x — точечное событие в d-мерном пространстве-времени Минковского, в котором начинается пространственноподобная полубесконечная струна, а e — пространственноподобный направляющий (единичный) вектор, который (до тех пор, пока рассматриваются ковариантность и флуктуации) также может рассматриваться как точка в $d-1$-мерном пространстве де Ситтера. Для того, чтобы (анти)коммутатор двух таких полей занулялся, недостаточно, чтобы x' были пространственноподобными, одна струна должна также быть вне зоны причинного влияния другой, т.е. линейная струна "видима" в смысле квантовой локализации (тогда как аналог, возникший из канонически квантованной струны Намбу-Гото, является фиктивным во всем, кроме локализации его центра масс). Это показывает, что к интересному концептуальному прогрессу приводят не только великие проекты, а часто лишь скромные наблюдения на обочине, мимо которой караван прошел давным-давно.

Здесь полезно напомнить читателю, что в релятивистской квантовой теории есть две важные концепции локализации: локализация Ньютона-Вигнера и модулярная локализация. Тогда как локализация Ньютона-Вигнера следует из приложения борновской вероятности локализации в x-пространстве к релятивистской волновой функции и имеет дело с оператором координаты и связанными с ним проекторами локализации и вероятностями; модулярная локализация рождается из попытки освободить причинную локализацию, присущую точечным квантовым полям, от несобственных аспектов полевой координатизации. Недостача ковариантности и причинности в локализации Ньютона-Вигнера[20] не имеет никаких неприятных последствий, пока эта локализация применяется в теории рассеяния; тот факт, что локализация Ньютона-Вигнера восстанавливает ковариантность для асимптотически больших расстояний, делает ее использование фактически обязательным при выводе пуанкаре-инвариантной S-матрицы, где необходимыми являются проекторы и их вероятностная интерпретация. Использование локализации Ньютона-Вигнера становится, однако, абсолютно некорректным (сверхсветовые нарушения причинности), когда она применяется к распространению на конечные расстояния. С другой стороны, модулярная локализация [19] не приводит к проекторам и вероятностям, но является корректным понятием для ковариантной причинной локализации состояний и операторных алгебр. В отличие от лагранжева квантования, она способна управлять ситуацией там, где координатизация точечными полями невозможна, как в упомянутом случае вигнеровского представления безмассовой башни спиральностей. В таких случаях понятия локальных функций, виковских полиномов, свойства вакуума, тензора энергии-импульса и статистической механики заметно отличаются от стандартного точечного случая и требуют нового концептуального анализа чтобы решать, является ли вопрос "неестественным" или он имеет смысл (например, при астрофизическом обсуждении состава темной материи/энергии).

В $d = 1 + 2$ измерениях существуют массивные вигнеровские представления с аномальным (неполуцелым) спином; связанные с ними поля имеют плектонную статистику (группа кос), несовместимую с точечной локализацией и с on-shell структурой. Точнее, даже в "самой свободной версии" (при исчезающем поперечном сечении

[20] Более общо, теория с положительностью энергии не допускает системы ковариантных проекторов локализации.

рассеяния) реализация статистики группы кос требует, чтобы любой оператор, одноразовое применение которого к вакууму является одночастичным состоянием, обязательно имел неисчезающую шубу поляризации вакуума[21] [23], другими словами нет никакого свободного поля аниона on- shell. Многие свойства анионов (анион = абелев плектон) могут быть получены путем применения модулярной локализации к вигнеровскому представлению. Есть серьезные основания ожидать, что путем применения идеи модулярных пересечений, по аналогии со случаем факторизующихся моделей [24], в свое время удастся получить явную конструкцию "интегрируемых" анионов.

Немного удивительно, что модулярная локализация на основе метода Вигнера приводит нас также к новой точке зрения на калибровочную теорию. Хорошо известно, что ковариантное полевое описание теории Вигнера для безмассовых представлений со спиральностью единица относится к напряженности электромагнитного поля, но не поддерживает введения точечных вектор-потенциалов (без дополнительных нефизических расширений). Здесь мы имеем существенное отличие от классической ситуации, где требование положительности нормы пространства состояний квантовой теории неприменимо; в этом случае при выборе из всех возможных ковариантных взаимодействий полезна идея калибровочного принципа для классического вектор-потенциала; классическая электродинамика Максвелла и этот принцип непосредственно обобщаются на квазиклассический мир квантовых частиц/полей во внешнем вектор-потенциале. Ситуация радикально меняется, когда вектор-потенциалы становятся квантовыми. Стандартная трактовка проблемы состоит в том, чтобы временно забыть про требование положительности нормы и сохранить точечную структуру, так чтобы можно было воспользоваться обычным лагранжевым квантованием теории возмущений. Это достигается искусственным расширением квантовой теории путем добавления нефизических духов, которые в конце вычислений должны быть удалены. Изначально неясно, что после применения теории возмущений в этой нефизической постановке удастся исключить духи из величин, которые в классическом смысле были калибровочно инвариантными, и лучшей формулировкой, которая делает это явным образом (формулируя физическую редукцию как когомологическую проблему), является известный БРСТ-формализм калибровочной теории. Нам нечего возразить против применения этого метода и получения успешных результатов для калибровочно инвариантных величин. Проблемы начинаются, когда такой БРСТ-"катализатор" (духов нет ни в исходной задаче о представлениях для частиц со спином 1, ни в окончательных физических результатах) рассматривается уже не как временный вычислительный трюк, а возводится в статус фундаментального физического инструмента.

Есть два аргумента против принятия такого "катализатора". Первый заключается в том, что в квантовом контексте мы не нуждаемся в калибровочном принципе для выбора между различными возможностями, потому что (в отличие от взаимодействий, использующих низшие спины) *унитарность и перенормируемость*[22] *уже фиксируют стандартную теорию* без необходимости дополнительного выбора, т.е. другие, некалибровочные, классические альтернативы, которые устраняются калибровочным принципом, не встречаются в локальной квантовой физике, и

[21] Только если не настаивать на лучшей локализации, которая является струно-подобной, а расширить пространство локализации на (риндлеровский) клин, тогда даже в присутствии взаимодействий можно создать состояния без примеси поляризации вакуума.

[22] Здесь содержится молчаливо подразумеваемое основное предположение, что любое квантовое требование (даже если оно пока до конца не понято) является более фундаментальным, чем любой классический аргумент, т.е. квантовая перенормируемость объясняет нам классический калибровочный принцип в квазиклассическом пределе.

следовательно, нам не нужен калибровочной принцип отбора; наоборот, мы принимаем перенормируемость как принцип локальной квантовой физики[23]. Второй аргумент носит скорее философский характер: придавая фундаментальное значение BRST-формализму, мы пошли бы против максимы Гейзенберга, что понятия (и, если возможно, вычисления) должны быть основаны на *наблюдаемых*. Поэтому мы испытываем чувство глубокого удовлетворения тем, что теория Вигнера, расширенная в соответствии с понятием модулярной локализации, приводит к физическому струнно-локализованному потенциалу $A_\mu(x,e)$ в фоковском пространстве фотонов [19]. Существованием этого струно-подобного объекта также объясняется одно старое наблюдение алгебраической КТП, заключающееся в том, что операторная алгебра, порожденная напряженностями поля нарушает дуальность Хаага для тороидальных областей пространства-времени. Все эти утверждения обобщаются на представления более высоких спиральностей и случай спиральности 2, где вигнеровская ковариантная "напряженность" является 4-тензором с алгебраическими свойствами тензора Римана и где струнно-локализованный "потенциал" — это метрический 2-тензор, является, по очевидным причинам, особенно интересным. В противоположность напряженностям поля, свойства потенциалов на малых расстояниях не усложняются с ростом спиральности. Но нам пока неизвестно, как формулировать взаимодействия и как строить теорию возмущений для струно-подобных локализованных полей; ожидается, что формальное подражание стандартному точечному формализму приведет к инфракрасным расходимостям.

За всеми этими замечаниями стоит теория, которая после операторной формулировки квантовой механики в гильбертовом пространстве является *самым впечатляющим примером прекрасного соответствия физических и математических понятий: модулярная (Томита-Такесаки) теория операторных алгебр* и ее впечатляющая сила связывать вместе статистическую механику, локализацию в квантовой теории поля и локальную квантовую физическую сущность для вывода внутренних и внешних симметрий из общих свойств операторных алгебр. Тогда как ко времени открытия квантовой механики теория гильбертова пространства была полностью создана, и физики должны были только изучить ее[24], развитие модулярной теории в середине 60-х было подлинным "дают — бери" в отношениях между физикой и математикой. Со стороны физиков подразумеваются Хааг, Гугенгольц и Виннинк и их исследования статистической механики открытых систем (т.е. непосредственно в термодинамическом пределе бесконечного объема, минуя квантование в ящике), где истинная равновесная термодинамика становится справедливой без поправок на конечный объем. Одной из их находок было то, что в термальном состоянии генератор сдвигов по времени имеет двусторонний симметричный спектр, и что это явление связано с симметрией между алгеброй наблюдаемых и ее коммутантом. Они также идентифицировали так называемое *КМШ свойство* (KMS (Kubo-Martin- Schwinger). — Примечание переводчика) как характерное свойство теплового равновесия, придавая таким образом фундаментальное значение наблюдению, которое в руках Кубо, Мартина и Швингера было просто аналитическим техническим трюком, позволяющим избежать вычисления следов для гиббсовских состояний. С математической стороны, Томита преуспел в выдвижении модулярного свойства групповых алгебр

[23]Это разумно, потому что любой квантовый принцип отбора, даже если он пока недостаточно ясен, является более фундаментальным, чем классический принцип (даже вполне понятый)

[24]Часто не знают, что именно Фриц Лондон [26] (а не Джон фон Нейман) впервые ввел понятия гильбертова пространства и "вращений в гильбертовом пространстве" (унитарных операторов) в квантовую физику. Так как он работал тогда ассистентом в Техническом Университете Штутгарта, то оказался вне "квантового диалога"', и его статья канула в забвение, несмотря на восторженный отзыв в статье Йордана о теории преобразований [27].

(связанного с отношением между правыми и левыми мерами Хаара) прямо в сердце общих операторных алгебр; Такесаки расширил теорию и вместе с Виннинком (вскоре после того, как главные герои от математиков и от физиков встретились на конференции 1967 в Батон-Руж) установил связь с КМШ-структурой физиков, тогда как Конн использовал эти новые понятия (включая физическую терминологию), чтобы значительно расширить классификацию фактор-алгебр, начатую Мюрреем и фон Нейманом. Потребовалось еще десятилетие, чтобы физик Вичман (Wichmann) вместе со своим молодым PhD студентом и сотрудником Бизоньяно (Bisognano) обнаружили геометрический аспект этой теории, рассматривая локализованные подалгебры КТП; в этом случае они доказали что, если локальная алгебра, связанная с областями пространства-времени порождена точечными полями, то модулярные данные алгебры, локализованной на клине, состоят из модулярной группы, являющейся идентичной лоренц-бусту, сохраняющему клин, и инволюции Томита, связываемой с отражением относительно острия клина, которое (с точностью до π-вращения вокруг пространственной оси, перпендикулярной к острию) осуществляется известным TCP-оператором квантовой теории поля. Термодинамический аспект КМШ, связанный с лоренц-бустом (после ограничения вакуумного состояния алгеброй клина), казался на первый взгляд немного необычным. Но после того, как Сюелл (Sewell) смог объединить это наблюдение с другим неожиданным свойством, а именно, с тепловым излучением черных дыр Хокинга, и после того как Унру проанализировал мысленный эксперимент, рассматривающий равномерно ускоренного наблюдателя в теоретико-полевом вакууме, обе ситуации оказались в значительной мере демистифицированы нахождением их общего корня. Следующие годы характеризовались углублением структурного понимания операторной алгебраической модулярности и ее связи с геометрическими аспектами симметрии и локализации (модулярная локализация), а также тепловыми проявлениями (термальность локализации).

В последние годы описанная выше схема модулярной локализации вошла в новую фазу. Тогда как до недавнего времени она, главным образом, служила для изучения довольно общих структурных свойств и доказательства математических теорем в квантовых теориях поля, удовлетворяющих определенным требованиям, сейчас стало ясно, что она содержит долгожданные концепции для нового конструктивного подхода, который впервые в истории КТП не использует квазиклассические костыли лагранжева квантования. Одним из его первых успешных испытаний было заполнение вышеупомянутых лазеек, оставленных определенным представлением Вигнера с положительной энергией, свойства локализации которого не могут быть описаны в терминах точечных полей и которое не удается проквантовать лагранжевым методом.

Другое успешное применение модулярной локализации привело к глубокому концептуальному пониманию конструкции бутстрап-формфактор для двумерных факторизующихся моделей. Спустя несколько лет после того, как мечты о единственном бутстрапе S-матрицы привели в тупик, и их остатки были переработаны в струнную теорию всего, некоторые физики сделали скромное наблюдение, что бутстрап S-матрицы можно заставить работать для специальных семейств двумерных интегрируемых моделей, так называемых *факторизующихся моделей.* Далекий от того, чтобы быть Теорией Всего, бутстрап S-матрицы для факторизующихся S-матриц, оказался началом кое-чего действительно интересного. Более простая структура унитарности, кроссинга и ковариантности в контексте факторизации позволила не только классифицировать факторизующиеся S-матрицы, но также развить формфакторный формализм, приводящий к единственному определению формфакторов гипотетической КТП, асимптотические пределы которой при больших временах воспроизводят бутстрап S-матрицы. Выполнение свойства кроссинга следует при этом теоретико-полевым ожиданиям (кроссинг как коллективный эффект всех промежуточных состояний), а не дуальности струнной теории (кроссинг исключительно в терминах бесконечных одночастичных башен).

Большинство этих результатов было получено путем добавления новых рецептов к LSZ теории рассеяния, которая в результате привела к единственным многочастичным формфакторам, правильность которых была поддержана проверками самосогласованности. Эти рецепты, однако, усложняют понимание концептуального места моделей факторизации в рамках КТП, что является важной проблемой, если мы хотим использовать их в качестве теоретической лаборатории для непертурбативного подхода к КТП, а не только ради них самих. Оказывается, что эти модели характеризуются существованием свободных от поляризации вакуума генераторов (**p**olarization-**f**ree **g**enerators (PFG)) для локализованных на клине алгебр[25], преобразования Фурье которых связаны с алгеброй Замолодчикова-Фаддеева. Модулярная локализация и вызванная взаимодействием поляризация вакуума неразрывно связаны с причинной локальностью, т.е. с теми свойствами, которые лежат в основе резкого различия между КТП и любой формой релятивистской квантовой механики. Весьма примечательно, что вызванная взаимодействием поляризация вакуума, неизбежное структурное присутствие которой было впервые отмечено в стандартной постановке КТП еще Фарри и Оппенгеймером (и которая была причиной концептуальной сложности в соотношении поле-частицы), теперь возвращается как центральное количественное понятие при непертурбативном имманентном конструировании моделей.

Хотя в более реалистических квантовых теориях поля нет никаких PFG, удовлетворяющих физически необходимым свойствам операторной области, идея, что существует классификация (не PFG, но однако конструктивно доступная) генераторов алгебр клина даже в общем случае, наводит на размышления. Такие генераторы нелокальны в старом смысле, но их назначение — не построение нелокальной КТП, а скорее использование структурной простоты, полученной путем ослабления локализации[26] на промежуточных стадиях вычислений. Модулярная теория локализации отводит привилегированную роль алгебрам операторов, связанным с пространственными областями клина; в некотором смысле, который может быть сделан точным, алгебры клина осуществляют наилучший компромисс между частицами и полями. Если при лагранжевом квантовании построение модели по теории возмущений в принципе задано, как только задана функция Лагранжа, то КТП в подходе модулярной локализации единственным образом определяется в терминах структуры ее алгебр клина (позиция алгебры клина среди алгебры всех операторов, или алгебраической структуры генераторов). Алгебры для меньших областей (пространственноподобные конусы, двойные конусы) определены в терминах алгебраических пересечений алгебр клина. В отличие от лагранжева подхода, здесь нет места, где нам могут встретиться ультрафиолетовые расходимости; худшее, что может случиться — то, что пересечение алгебр клина, связанных с алгеброй двойного конуса, будет тривиальным (множителем единицы). В этом случае искомой локальной КТП, связанной с данными на клине, просто не существует. В лагранжевом подходе нет никаких правдоподобных критериев существования, но никто и не думает, что лагранжевы модели с неперенормируемым поведением на малых расстояниях могут быть связаны с математически существующими КТП.

[25] Область клина — наименьшая область, для которой существование PFG совместимо с присутствием взаимодействия.

[26] Операторы алгебры Замолодчикова-Фаддеева дают самую простую иллюстрацию таких генераторов алгебры клина. Использование простых нелокальных операторов для построения локализованных алгебр не ограничивается двумя измерениями [20].

Чрезвычайно интересно отметить, что модулярная локализация объединяет три важные нереализованные идеи прошлого и дает им новую перспективу.

- Идея, что конструкция, которая отказывается от корреляционных функций в пользу S-матрицы и формфакторов, обязательно свободна от ультрафиолетовых расходимостей; это обобщение старой идеи бутстрапа S-матрицы.

- Идея использовать вместо довольно-таки сингулярных квантовых полей порождаемую ими локальную сеть индексированных пространством-временем операторных алгебр . Этот шаг аналогичен независимой от координат трактовке, принятой в современной дифференциальной геометрии. Эту идею отстаивал с конца 1950-х Хааг, и в результате коллективных усилий нескольких десятилетий, она выросла и стала тем, что теперь называют алгебраической КТП или Локальной Квантовой Физикой [4].

- Дух, лежащий в основе подхода теории представлений Вигнера к теориям без взаимодействия. Он дает пример имманентности (никаких классических костылей) в очень специальном контексте, но в отличие от алгебраической КТП, главным применением которой была структурная сторона, вигнеровская классификация представлений с положительной энергией и связанная с ней алгебраическая сеть в пространстве Фока полностью конструктивна. Хотелось бы ввести эти идеи в мир взаимодействий, избежав необходимости вводить неимманентные полевые координатизации.

Все это можно рассматривать как возрождение некоторых идей старого подхода бутстрапа S-матрицы на более высоком концептуальном и математическом уровне, теперь не антагонистичное понятиям локализации КТП off-shell, а скорее являющееся его новым концептуальным обогащением. Для двумерных моделей был сформулирован и успешно испытан на факторизующихся моделях [29] строгий критерий решения старой проблемы математического существования (чего пертурбативная лагранжева теория квантования не может дать по известным причинам) в виде поддающегося проверке свойства степеней свободы (аналогичного modular nuclearity) для алгебр клина. Так как знание алгебр клина (т.е. генерирующих операторов), как известно, гарантирует единственность возможной ассоциированной локальной КТП, разумно ожидать, что существует алгебраическое свойство, связанное с числом степеней свободы, которое обеспечивает нетривиальность локальных взаимодействий. Как и в старые времена, когда существованию теории угрожало плохое поведение на малых расстояниях при интегрировании по флуктуациям сингулярных точечных полевых координат, в новой внутренней постановке без сингулярностей и без координатизации свойства квантового фазового пространства определяют, приводит ли специфическая стартовая структура алгебры клина к КТП или нет.

Возможно здесь стоит напомнить читателю, что некоторые из больших теоретических открытий прошлого столетия были сделаны путем передумывания и переделывания заново уже существующих теоретических построений. Когда Эйнштейн создавал специальную теорию относительности, формулы преобразования Лоренца и их связь с уравнениями Максвелла были уже открыты, но их революционное значение для нового понятия пространства-времени понято не было[27]. Большой успех пертурбативной перенормировки состоял не в обнаружении новых принципов, лежащих в основе КТП, а скорее в приведении известных принципов в соответствие

[27] Среди историков имеются разногласия, мог ли Эйнштейн, который был на вершине идей конца 19-го века, знать об этих формулах, возможно, бессознательно. В любом случае, вывод в его новой интерпретации пространства-времени был полностью новым и чрезвычайно красивым.

с новыми понятиями и более адекватной техникой вычислений, которая позволила управлять определенными аспектами ультрафиолетовых расходимостей на языке более физичной параметризации. Выражаясь технически, старая формулировка КТП, находившаяся под сильным влиянием формализма квантовой механики (Вентцель, Гайтлер) была заменена на явно релятивистскую, которая позволила яснее различать лагранжевы (неперенормированные) и физические параметры. Хотя и квантовая механика, и КТП являются квантовыми теориями, неизбежное присутствие поляризации вакуума и следующие из этого существенные структурные изменения лишают нас возможности представлять КТП как некую релятивистскую квантовую механику; этот факт, даже в настоящее время, часто не отмечается.

Хотя КТП является удивительно успешной схемой по части согласия с экспериментом, отсутствие хоть какой-то математически контролируемой модели (кроме специальных случаев в низших размерностях) и отсутствие всесторонней конструктивной стратегии, использующей основные принципы без “классических костылей”, ставит ее особняком от квантовой механики и большинства других областей теоретической физики. Критический вопрос, следующий из вышеупомянутых исторических замечаний, заключается в том, допустит ли теория, которая была с нами в течение более чем 70-ти лет и подвергалась уже одному революционному изменению своего формализма, еще один пост-перенормировочный революционный шаг, который превратил бы ее в автономную теорию, подобную предшествовавшим. Наличие радикально отличной формулировки, уменьшающей роль полевых координатизаций в пользу индексированных пространством-временем алгебр [4] — очень серьезный намек на эту возможность[28].

Особенно радикальный результат по сравнению со стандартной лагранжевой схемой — возможность описать полноценную КТП со всем ее структурным богатством в терминах конечного числа “*монад*”, т.е. копий одного уникального объекта в общей окружающей среде, причем вся физика закодирована в относительных положениях этих копий. Если Вы интерпретируете слово *монада* в этой физической реализации философии Лейбница как уникальный (с точностью до изоморфизма) гиперконечный типа III_1 фактор Мюррея-фон Неймана[29], окружающую среду как объединенное гильбертово пространство, в котором эта операторная алгебра сидит в различных позициях и если эти относительные позиции определены соответствующим способом в терминах модулярных понятий операторной алгебры (модулярные включения и пересечения с объединенным вакуумом), то существование группы Пуанкаре (или конформной) симметрии пространства-времени и сети локальных алгебр (произведенной действием этой симметрии на монады) будут следствиями[30]. Однако такое новое структурное понимание не может непосредственно быть преобразовано в новые способы классифицировать и строить модели, это пока слишком абстрактно. Конструирование (расширенных) генераторов локальной алгебры в соответствии с модулярной теорией дает новое основание, и (как упомянуто выше) в специальном контексте факторизующихся моделей, где генераторы алгебры клина имеют особенно

[28]Многие из понятий (модулярные включения, модулярные пересечения) развил Висброк (H.-W. Wiesbrock) [28], который, несмотря на его удивительно оригинальную работу, не имел никаких шансов продолжить свою академическую карьеру в те времена, когда большинство университетских позиций доставалось струнным теоретикам.

[29]Эта алгебра, которая естественно появляется в схеме квантово-теоретико-полевой локализации и поляризации вакуума, не появляется в квантовой механике, и следовательно, подчеркивает большие структурные различия между квантовой механикой и КТП.

[30]Главный герой этой глубокой работы над модулярными включениями и модулярными пересечениями не имел никаких шансов развивать свою академическую карьеру, тогда как его современники, которые также начинали работать в КТП, но поняли, что карьера в физике элементарных частиц возможна только через теорию струн, получили высокие академические положения.

простой вид (близко связанный с алгеброй Замолодчикова-Фаддеева), уже имеется хорошее понимание, как строить их на основе пространственно-временной модулярной локализации. Особенно полезен для проверки новых алгебраических концепций аппарат киральных конформных теорий. Здесь задача современных исследований состоит в том, чтобы классифицировать и строить такие теории путем детализации общих принципов и понятий КТП, вместо того чтобы опираться на математические структуры (например, группы петель), не допускающие аналогов в более высокой размерности.

Недавно решенной интересной задачей КТП, которая потребовала концептуального понимания вне рамок стандартной схемы была проблема *квантовой адаптации локального принципа ковариантности Эйнштейна* к КТП в искривленном пространстве-времени. Причина, по которой решения пришлось ждать так долго, состояла в том, что локальные (лоскуто-подобные) изометрические диффеоморфизмы классической теории не имеют никакой прямой реализации на уровне квантовых состояний (по сравнению с унитарно реализованными стандартными глобальными симметриями пространства-времени, такими как пуанкаре-инвариантность вакуумного состояния в пространстве-времени Минковского). Стандартный формализм для математических ожиданий, основанный на лагранжевом функционале действия (или любой другой формализм квантования) не отделяет состояния от операторов. Только после того как алгебраический подход привел к такому разделению, стало ясно как формулировать квантовую локальную ковариантность [31]. Из алгебраической функториальной формулировки в терминах функтора, который связывает категорию причинных многообразий с категорией определенных алгебр, старая проблема с состояниями стала ясной: состояния являются дуальными к алгебрам. При дуализации алгебраического утверждения обнаруживается, что только классы (foleii) состояний являются инвариантными, квантовая локальная ковариантность не оставляет их неизменными индивидуально. Результатом этих исследований стал новый способ смотреть на КТП: вместо того, чтобы рассматривать квантовые поля на заданных лоренцевых причинно полных (глобально гиперболических) многообразиях, теоретико-полевая модель в новой схеме выступает как функтор между всеми причинно полными многообразиями и операторно-алгебраической категорией (например алгебра Вейля, алгебра CAR,...). Возникает интересный вопрос: является ли каждая КТП в старом смысле расширяемой до КТП в этом новом смысле, т.е. может ли алгебраическое основание КТП в пространстве-времени Минковского быть перенесено на любое глобально гиперболическое многообразие. Если взять алгебру свободных полей в их операторно-алгебраической постановке (CCR, CAR), то это можно показать, но в более общем контексте это очень трудная открытая проблема. В простейшем случае киральных алгебр она сводится к вопросу, допускает ли мебиус-ковариантная сеть алгебр продолжение на произвольное $\mathrm{Diff}(S)$. Это, конечно, всегда возможно, если предполагать, что киральная сеть имеет ассоциированный тензор энергии-импульса; тогда чтобы изучить нечто, что может оказаться полезным для КТП в более высоких размерностях, следует спросить о физически вероятных свойствах системы определения алгебр операторов, которая гарантирует существование этого расширения. Это приводит к довольно специальной версии данного вопроса — может ли каждая киральная алгебра в смысле инвариантности Мебиуса быть расширена на теорию с $\mathrm{Diff}(\mathrm{S}^1)$ симметрией (не предполагая существования тензора энергии-импульса). Очевидно, что, если Вы не можете решить этот простой вопрос в этом специальном случае, не будет никаких шансов сделать это для более общего случая. Кажется, есть разумные предположения о модулярном расположении, которое действительно разрешает обобщить вывод ковариантности Мебиуса на $\mathrm{Diff}(S)$ ковариантность.

Один интересный побочный результат этих замечательных концептуальных достижений (который оставался в значительной степени незамеченным на обочине большого струнно-доминируемого каравана) состоит в том, что многократно обсуждаемые оценки полевых вакуумных вкладов в космологическую постоянную (более чем на 50 порядков величины превышающих наблюдаемое значение) находятся в противоречии с вышеупомянутой квантовой версией локальной ковариантности Эйнштейна. Последняя не поддерживает наивные аргументы по оценке энергии нулевых колебаний, такие как в работе [33], рассматривающие вакуум как релятивистскую квантово-механическую систему. Эти аргументы были некритически использованы многими физиками частиц (например [34]). В очень интересной статье Холландс и Уолд [35] показывают, что локальная схема ковариантности КТП противоречит такой релятивистской квантово-механической картине заполняющихся уровней импульсного пространства (в соответствии с замечаниями, сделанными выше), в согласии с идеей, что пространство импульсов (Фурье-преобразование) приобретает свою физическую интерпретацию только благодаря ковариантной локализации, а не наоборот. К сожалению, ошибочная идея, что КТП является своего рода релятивистской квантовой механикой, чрезвычайно широко распространена, так что их аргументы, вероятно, не получили того внимания, которого они заслуживают. Нет необходимости упоминать, что в общем случае системы отсчета искривленного пространства-времени, которые заменяют вакуум Минковского, действительно приводят к неисчезающему вакуумному ожиданию правильно (в согласии с локальным принципом ковариантности) определенного тензора энергии-импульса. Имеется однако новый параметр взаимодействия, включающий кривизну, и в рамках схемы искривленного пространства-времени надо сделать предположение о его числовом значении. Холландс и Уолд показывают, что в теории, основанной на тензоре энергии-импульса, квантованном согласно требованию локальной ковариантности, мы не приходим к таким гигантским величинам космологической постоянной. На самом деле, у них возникает противоположная проблема: согласно разумным предположениям об этом неизвестном взаимодействии, вклад поляризации вакуума получается слишком малым, чтобы объяснить астрофизические данные. Более надежные оценки, которые могли бы разъяснить, имеется ли здесь подлинная проблема, требуют лучшего концептуального понимания локальных и глобальных свойств используемых квантовых состояний. Можно только надеяться, что наблюдательная астрофизика сохраняет свою автономию и не идет путем некоторых разделов экспериментальной физики высоких энергий, в которых оценки находятся под влиянием струнных теоретиков (которые учат мерить проявления их малых скрученных измерений и искать нарушения лоренц-инвариантности).

Тезис струнных теоретиков о “единственной игре в городе” основан на убеждении, что главное содержание КТП уже известно. Но если теория допускает такие радикально отличные концептуальные схемы, как указанные мной в этой главе, то она весьма далека от своего завершения. Скорее КТП требует нового пост-перенормировочного революционного шага для достижения своей окончательной формы. Разумеется, есть много других предметов, не упомянутых здесь, которые так же убедительно подтверждают, что заявление о “единственной игре в городе” является просто обманом СМИ в целях саморекламы и в ущерб фундаментальной физике.

Неудавшаяся попытка Формана [13] связать революционные изменения в квантовой механике 1920-х с воцарившимся после Первой мировой войны социальным Духом времени и с политической ситуацией в Веймарской республике была, возможно, преждевременной. Более подходящий объект для подобного сравнения физики и Духа времени дает струнная революция конца прошлого столетия. Тогда как квантовая механика является одним из самых жизнеспособных описаний реальности в физике, чьи необычные аспекты вероятности и случайности на фундаментальном уровне не имеют ничего общего с мраком типа Шпенглера и гибелью Веймарской республики, тесная связь между характерными особенностями теории струн и Духом времени, пронизывающим современные политические события, слишком очевидна, чтобы ее не заметить. Их объединяет общий сильный гегемонистский дух жажды идеологического господства над более рациональными традициями. "Единственная игра в городе" с одной стороны соответствует логике "оружия массового поражения", а с другой стороны[31], вышеупомянутые струнно-теоретические переопределения слов, первоначально имевших четкий физический смысл, соответствуют новым определениям таких слов как пытка или похищение, делая разрыв с прошлым не таким заметным и увеличивая шансы на одобрение демократическим большинством.

Пока сохраняются глубинные демократические традиции, остается надежда, что агрессивная политическая конфронтация может уступить место компромиссу, дипломатии и подлинной заинтересованности в культуре других народов, вместо гегемонистского принуждения, навязывающего собственный образ жизни и политическую систему другим.

Кризис в физике элементарных частиц, который находит свое наиболее очевидное проявление в гегемонии теории струн, весьма устойчив. До тех пор пока некоторые ведущие физики, включая лауреатов Нобелевской премии, оказываются не в состоянии играть естественную роль критических наблюдателей (в отличие от их более критически настроенных предшественников, вроде Паули, которые держали физику элементарных частиц в здоровом рациональном состоянии), существующая ситуация сохранится и может даже ухудшиться. Без активной поддержки крайние идеи не смогли бы найти таких больших сообществ последователей. Это явление больше не ограничено теорией струн. Лауреат Нобелевской премии Мюррей Гелл-Манн делает все от него зависящее, чтобы помочь создать новую причуду в статистической механике [36]. Больцман и Гиббс перевернулись бы в своих гробах. Работающие ученые, такие как Лебович (Lebowitz) и Лейб (Lieb), не делают тайны из своего разочарования таким развитием событий.

Отличие от Эйнштейна и Гейзенберга, которые также в конце своих жизней работали многие десятилетия над неудавшимися теориями, состоит в том, что их коллегам и широкой публике тогда было более очевидно, что Нобелевская премия дается за правильные идеи в нужное время (возможно также и в правильном месте) и не обеспечивает гарантии пожизненного блистания. Следовательно, они не могли нанести вреда физике после своих основных вкладов; эта ситуация изменилась в результате прогресса лживости средств массовой информации. Паули работал первоначально вместе с Гейзенбергом над неудавшейся нелинейной спинорной теорией, но когда (в связи с лекционной поездкой по США) его раскритиковал Фейнман, он немедленно увидел сомнительные места; причиной, по которой после его возвращения возникли большие трения с Гейзенбергом, стало то, что он не смог убедить своего прежнего соавтора в том, что они были на неправильном пути. В течение к несчастью слишком короткой жизни Паули его разящий сарказм (он не жалел себя[32]) и полемический

[31] Эти параллели, конечно, приведены не с целью намекнуть, что каждый струнный теоретик — сторонник политики администрации Буша.

[32] В октябре 1958 он приехал в Гамбург, чтобы прочитать лекцию на коллоквиуме по нейтрино. После его доклада Гарри Леман (тогда мой руководитель) пригласил его в свой кабинет, где стоял вращающийся стул, названный стулом Паули (тот, который он использовал во время крещения своего принципа исключения). Он был полностью истощен и выглядел очень больным. Он начал качать головой как ортодоксальный еврей (некоторые называли это частотой его основного состояния), и сказал "Ja, Ja, ich glaube der Heisenberg liegt mir noch schwer im Magen". Он умер 6 недель спустя от панкреатического рака.

Он очень любил Гарри Лемана и считал его лидером "Корпорации полевиков" ("Feldverein"). Гарри стиль поддерживали физику элементарных частиц в добром здравии, при том даже, что он иногда выбирал неправильную сторону. Это здоровое состояние длилось почти три десятилетия, потому что такие люди как Йост, Леман, Ландо, Коулмен (по крайней мере, пока он был здоров) и другие, поддерживали критический дух живым. Этот дух начал исчезать со смертью этих великих людей, как и с развалом Советского Союза и концом эры больших школ. Поглощение физиков из этих мест ведомой США глобализованной рыночной экономикой значительно ослабило роль поиска истины как одного из побудительных мотивов для работы в науке. С горестью мы читаем известный адрес 1918 года "Принципы исследования", написанный Эйнштейном в честь Планка:

В храме науки обителей много. Различны пребывающие в нем люди и приведшие их туда духовные силы. Некоторые занимаются наукой с гордым чувством своего интеллектуального превосходства; для них наука является тем подходящим спортом, который должен им дать полноту жизни и удовлетворение честолюбия. Можно найти в храме и других: плоды своих мыслей они приносят здесь в жертву только в утилитарных целях. Если бы посланный Богом ангел пришел в храм и изгнал из него тех, кто принадлежит к этим двум категориям, то храм катастрофически опустел бы. Все-таки кое-кто из людей как прошлого, так и нашего времени в нем бы остался. К числу этих людей принадлежит и наш Планк, и поэтому мы его любим.

Глядя на большое количество кафедр на факультетах теоретической физики во всем мире, занимаемых струнными теоретиками, я не питаю особых надежд. Будет еще больше больших латинских букв и струнных протеже (типа, упомянутого в первой главе), и вероятность радикальной перемены направления благодаря новым людям, входящим в физику элементарных частиц, останется чрезвычайно низкой по нескольким причинам. С одной стороны, ситуация концептуально и математически является намного более вызывающей, чем это было, например, сто лет назад, когда Эйнштейн написал свои статьи 1905 года, открывшие новую эпоху; тогда исходная ситуация не находилась под влиянием длительного господства путаной теории. Было много школ мысли, но не было никакого гегемонистского контроля направлений исследований и институтов через импакт-индексы, не было и глобализованных групп интересов. В настоящее время тот, кто имеет способности и силы сопротивляться приманке струнного гегемона и развивать свои собственные оригинальные идеи, рискует увидеть конец своей академической карьеры без старомодного патентного бюро, которое могло бы послужить временным убежищем.

Добавленное примечание: Я считаю, что использование полемического стиля в физике должно быть ограничено предельно критическими ситуациями. Полемика, если она хороша, иногда имеет власть открывать глаза замороченным людям и служить катализатором момента истины, но она, конечно, полностью бесполезна с людьми, которые позволили фундаментализму захватить власть. Прекрасным примером научной полемики в ее лучших проявлениях является статья Реса Йоста [12]. Она была написана на пике моды бутстрапа S-матрицы, и я думаю, что она кое-чего достигла, по крайней мере, по части очистки атмосферы. Сейчас ситуация намного хуже, и если мое усилие напрасно, то вероятно не только потому, что ему не хватает элегантности и последовательности Йоста. Но несомненно наступила чрезвычайная ситуация; мы — на распутьи, единство физики элементарных частиц (включая уни-

Леман имел очень похожий характер. Однажды на торжественном докладе Карла-Фридриха фон Вайцзекера об "Ure" (двузначные альтернативы спина), когда фон Вайцзекер оценивал число Ure во Вселенной и пришел к числу 10^{60} (или вроде того), Леман сказал голосом, который был хорошо слышен в его окружении: "минус один, пожалуйста вычтите меня, потому что я принял свое решение прямо сейчас".

версальный концептуальный базис для рациональных коммуникаций между различными подходами) находится под угрозой. Большинству предыдущих модных течений (я, в частности, думаю о бутстрапе S-матрицы) не покорились такие первоклассные места как MIT и некоторые университеты Лиги Плющa. Признаком глубины нашего кризиса является то, что сейчас этого, по-видимому, сказать уже нельзя. Возможно, мы нуждаемся в своего рода академическом Ноевом ковчеге, который мог бы сыграть для новаторов нон-конформистов роль, аналогичную роли Бернского патентного бюро в карьере Эйнштейна.

Список литературы

[1] L. Susskind, *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design.* Little, Brown (December 12, 2005), 416 pages, ISBN: 0316155799.

[2] O. Darrigol, *The origin of quantized matter fields*, Hist. Stud. Phys. Sci. 16/2, 198

[3] P. Jordan, *The Present State of Quantum Electrodynamics*, in *Talks and Discussions of the Theoretical-Physical Conference in Kharkov* (May 19.-25., 1929) Physik.Zeitschr.XXX, (1929) 700

[4] R. Haag, *Local Quantum Physics*, Springer 1996

[5] B. Schroer, Ann. of Phys. **319**, (2005) 48, and references therein

[6] M. Schottenloher, *A mathematical introduction to conformal field theory*, Springer 1997

[7] http://www.lns.cornell.edu/spr/2003-12/msg0057032.html

[8] www.Wikipedia\String theory-Wikipedia, the free encyclopedia

[9] E. Martinec, Class. Quant. Grav. **10**, (1993) L187

[10] J. Dimock, J. Math. Phys. **41**, (2000) 40

[11] D. Bahns, J.Math.Phys. **45** (2004) 4640

[12] Res Jost, TCP-Invarianz der Streumatrix und interpolierennde Felder, Helvetica Physica Acta **36**, (1963) 77

[13] P. Foreman, *Weimar culture, causality and quantum theory1918-1927: Adaptation by German physicists and mathematicians to a hostile intellectual environment.* Hist. Stud. Sci, 3:1-115

[14] click Theodor Adorno in Wikipedia: http://www.wikipedia.org/

[15] K. Vonnegut, The only Game in Town, Natural History, Winter 2001

[16] see http://www.math.columbia.edu/~woit/

[17] J. Yngvason, Commun. Math. Phys. **18**, (1970) 195

[18] J. Mund, B. Schroer and J. Yngvason, Phys. Lett. **B596**, (2004) 156

[19] J. Mund, B. Schroer and J. Yngvason, *String-localized quantum fields and modular localization*, math-ph/0511042 , to be published in CMP.

[20] D. Buchholz and S. J. Summers, *String–Localized Fields in a Strongly Nonlocal Model*, math-ph/0512060

[21] B. Schroer, Ann. of Phys. **319** (2005) 92

[22] H.J. Borchers, D. Buchholz and B. Schroer, Commun. Math. Phys. **219**, (2001) 125, hep-th/0003243

[23] J. Mund, Lett. Math. Phys. **43**, (1998) 319

[24] B. Schroer, Ann. Phys. **319**, (2005) 48 and previous contributions cited therein

[25] M. Karowski and P. Weisz, Phys. Rev. B **139**, (1978) 445

[26] F. London, Zeitschr. für Physik **40** (1926) 193

[27] P. Jordan, Zeitschr. für Physik **40**, (1926) 809

[28] R. Kaehler and H.-W.. Wiesbrock, JMP **42**, (2000) 74

[29] G. Lechner, *An Existence Proof for Interacting Quantum Field Theories with a Factorizing S-Matrix*, math-ph/0601022

[30] Nikolay M. Nikolov, Ivan T. Todorov, *Lectures on Elliptic Functions and Modular Forms in Conformal Field Theory*, math-ph/0412039

[31] R. Brunetti and K. Fredenhagen, *The generally covariant locality principle – A new paradigm for local quantum physics*,Commun.Math.Phys. 237 (2003) 31

[32] R. Brunetti and K. Fredenhagen, *Towards a background independent formulation of perturbative quantum gravity*, gr-qc/0603079

[33] S. Weinberg, Rev. Mod. Phys. **61**, (1989) 1

[34] N. Straumann, *On the Cosmological Constant Problems and the Astronomical Evidence for a Homogeneous Energy Density with Negative Pressure*,astro-ph/0203330

[35] Hollands and R. E. Wald, *Quantum Field Theory Is Not Merely Quantum Mechanics Applied to Low Energy Effective Degrees of Freedom,* Gen.Rel.Grav. **36** (2004) 2595

[36] M. Gell-Mann and C. Tsallis, cond-mat/0509229 and special issue of Europhysics news **36**, Nr.6, Nov.-Dec. 2005