

УДК 539.12

“И ДОЛЬШЕ ВЕКА ДЛИТСЯ ДЕНЬ ...”

Г.М. Верешков, Л.А. Минасян

ВВЕДЕНИЕ

“И дольше века длится день...”
 Название настоящей статьи навеяно особенностями развития физики за период XX века. Мы представим нашу версию исторического экскурса в развитие фундаментальных концепций в квантовой физике и геометродинамике. Результаты и перспективы фундаментальной физики, полученные уже в XXI в., свидетельствуют о нарастающей актуальности философско-методологического осмысления этих концепций. Многие говорят о том, что на смену концепций физики XX в. придут еще более глубокие и унифицирующие концепции, выходящие за рамки неклассического модерна и постмодерна. Философские (онтологические) аспекты существующих и возникающих проблем более детально будут обсуждаться в статье, которая будет предложена читателю в следующем номере настоящего журнала.

XX век ознаменовал свое начало великим открытием Макса Планка, озвученным ученым 26 декабря 1900 года. Именно в этот день Макс Планк поведал миру о квантовой природе света. Что же предшествовало этой знаменательной дате?

Верешков Григорий Моисеевич – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией физики фундаментальных взаимодействий НИИ физики Южного федерального университета, профессор кафедры теоретической и вычислительной физики Южного федерального университета, старший научный сотрудник Института ядерных исследований Российской Академии наук, 344000, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194, e-mail: gveresh@gmail.com;

Минасян Лариса Артаваздовна – доктор философских наук, профессор кафедры физики Донского государственного технического университета, 344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, e-mail: larmin1@mail.ru.

Развитие физики XIX в., казалось бы, не предвещало каких-либо резких поворотов. Это нашло свое отражение в эпизоде, хорошо известном в среде физиков. В начале своей научной деятельности Макс Планк обратился к профессору Филиппу Жолли с решением посвятить свою деятельность теоретической физике. Однако Жолли посчитал такие устремления бесперспективными в связи с тем, что теоретическая физика, как он считает, уже в основном закончена. Подобное благодушное настроение ученых-физиков на рубеже XIX – XX веков как нельзя лучше выразил Дж. Томсон, высказавший мнение о том, что здание физики практически построено, не хватает лишь нескольких деталей: на ясном небосклоне имеются только два облачка.

Первое облачко, омрачающее общую умиротворяющую картину, Томсон связывал с отрицательным результатом опыта Майкельсона. Известно, что из этого темного облачка выросла специальная теория относительности Эйнштейна, изменившая кинематические представления о пространстве и времени. Оказалось, что пространственные расстояния и промежутки времени относительны (име-

Grigory Vereshkov – Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Southern Federal University, 194 Stachki, Rostov-on-Don, 344000, e-mail: gveresh@gmail.com;

Larisa Minasyan – Don State Technical University, 1 Gagarin Plaza, Rostov-on-Don, 344010, e-mail: larmin1@mail.ru.

ют различные значения для наблюдателей, находящихся в различных инерциальных системах отсчета), а абсолютной (инвариантной) характеристикой обладает единый четырехмерный пространственно-временной континуум. Преобразования инерциальных систем отсчета получили статус преобразований пространственно-временного континуума самого в себя. Специальный принцип относительности утверждает, что законы природы как функциональные соотношения между наблюдаемыми физическими величинами при таких преобразованиях остаются неизменными. Расширение принципа относительности на неинерциальные системы отсчета с учетом эквивалентности тяжелой и инертной масс привело Эйнштейна к построению общей теории относительности, к представлению об искривлении пространственно-временного континуума, описываемого римановой неевклидовой геометрией. Гравитационное поле получило чисто геометрическую интерпретацию как мера искривленности пространства-времени. Тем самым был сделан первый шаг к геометризации физики. Главным результатом создания общей теории относительности можно назвать калибровочный принцип – динамическое нововведение, играющее роль базисной методологии современной теоретической физики. Калибровочный принцип есть математическое выражение геометродинамической концепции, к деталям и тонкостям которой мы обратимся на последующих страницах настоящей статьи.

Второе “темное облачко” на ясном небосклоне физики XIX–XX веков означало серьезное расхождение между теорией и экспериментом при исследовании законов теплового излучения абсолютно черного тела. Первый шаг в решении проблемы – квантование излучения – был сделан Планком, с чего и началось развитие квантовой методологии в физике. Существо идеологии квантовой физики составляет концепция целостности, в основе которой лежит рассмотрение свойств микрообъектов по отношению к конкретной макрообстановке, т.е. по существу речь идет о процедуре и следствиях разделения единой целостности на микромир и макрообстановку.

Итак, два, казалось бы, безобидных облачка нарушили общую идиллию, царившую, и не без оснований, к началу прошлого века в физической среде. Ибо успехами естествознания была достигнута связная, целостная

физическая картина мира, полностью реализующая установки модерна в механистически детерминистском наполнении. В начале XX в. стартуют две физические научно-исследовательские программы, полностью изменившие бытовавшую классическую картину мира. Рассмотрим, какой путь развития прошли эти нововведения в физике и с какими проблемами они столкнулись.

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ КАК ИНСТРУМЕНТА ПОЗНАНИЯ

Что касается методологии квантовой физики, то этап ее становления охватил период около тридцати лет – с открытия Планка до создания перенормируемой квантовой теории поля. В основе квантовой теории лежат три методологических принципа: *целостности, дополнительности и неопределенности*. Для понимания квантовой теории нужно хорошо представлять, какое содержание в них вкладывается.

Принцип целостности утверждает, что микрообъект сам по себе не обладает никакими свойствами; он формирует и проявляет их только в определенной макрообстановке. Представителем, ключевым элементом макрообстановки, является прибор, осуществляющий измерения физических величин. С тем же основанием можно и наблюдателя считать частью макроскопической обстановки, так как именно он принимает решения о выборе конкретного прибора и проведении измерения той или иной физической величины. Таким образом, в квантовой физике объектом экспериментального исследования является целостная система, состоящая из двух подсистем. Одна из них – прибор-измеритель – подчиняется закономерностям классической физики; другая – существенно квантовая; между этими двумя частями единой целостной системы существуют принципиально неустраняемые связи.

Принцип дополнительности указывает, что в различных макрообстановках проявляются и различные свойства микрообъекта, причем существуют так называемые взаимно дополнительные макрообстановки (или приборы). Наиболее наглядно содержание этого принципа выявляется при анализе корпускулярно-волнового дуализма. Из эксперимента известно, что в различных ситуациях

микрообъекты могут вести себя и как корпускулы, и как волны. Характерной чертой корпускулы является возможность ее регистрации в определенной точке пространства, т.е. корпускула – объект, обладающий такой характеристикой, как координата. Характерной же чертой волны является ее делокализация в пространстве-времени, волна есть процесс, происходящий не в одной точке пространства, а сразу в бесконечном множестве (континууме) точек. Пространственно-временными характеристиками волны являются ее длина λ и частота ν . В теоретической физике обычно используется так называемая круговая частота $\omega = 2\pi\nu$ и волновое число $k = 2\pi/\lambda$. Согласно фундаментальной идее Луи де Бройля, волна есть способ описания распространения в пространстве-времени частиц с энергией $\varepsilon = \hbar\omega$ и импульсом $p = \hbar k$, где $\hbar$ – постоянная Планка, при условии, что частицы не передают свою энергию другим объектам. Поэтому регистрация волны в эксперименте, автоматически предполагающая измерение ее длины, фактически означает измерение импульса частиц, сопоставляемых этой волне. Таким образом, корпускула регистрируется при измерении координаты, а волна – при измерении импульса. Эти измерения производятся существенно различными приборами, т.е. в принципиально различных макрообстановках. Иными словами, в одной определенной макрообстановке микрообъект может проявить свои только корпускулярные, а в другой – только волновые свойства. Причины, по которым эти макрообстановки называются взаимно дополнительными, раскрываются в принципе неопределенности.

Принцип неопределенности утверждает, что квантовый микрообъект не может одновременно обладать определенными значениями координат и импульсов. Отметим, что объект, обладающий определенными координатой и импульсом, представляет собой классическую корпускулу. Если квантовый микрообъект обладает координатой, то, согласно принципу неопределенности, ему нельзя приписать какое-либо значение импульса. Таким образом, этот объект локализован так же, как и классическая корпускула, но, в отличие от нее, импульсом не обладает. Если же, напротив, микрообъект имеет определенное значение импульса, то, согласно принципу неопределенности, он не обладает определенным значением координаты, а зна-

чит, такой объект делокализуется в пространстве и приобретает свойства волны. Однако этот микрообъект с классической волной отождествить тоже нельзя. Действительно, можно экспериментально реализовать несколько последовательных измерений (в разные моменты времени!), на основании которых устанавливается, что на пути к последнему измерению координаты, в котором он проявит себя как корпускула, микрообъект вел себя как волна. Классическая же волна зафиксировалась бы при единственном измерении в определенный момент времени.

При только что проведенном анализе принципов дополнительности и неопределенности в качестве исходного образа микрообъекта мы использовали образ частицы-корпускулы. В наших рассуждениях это, в частности, выразилось в том, что понятие волны привлекалось только как *способ описания перемещения микрообъекта в пространстве-времени без передачи энергии*. Возможен, однако, и прямо противоположный подход: в качестве исходного образа микрообъекта выбирается образ волны, а понятие корпускулы возникает как *способ описания взаимодействия микрообъекта с макроскопическими телами с передачей энергии*. При построении математической теории микрообъектов дуалистический характер их поведения учитывается так называемой *процедурой квантования*, которая выглядит по-разному при различном выборе исходного образа микрообъекта. Если исходный образ – корпускула, то процедура квантования наделяет корпускулу в соответствующих ситуациях волновыми свойствами; если же исходный образ – волна, то после квантования в определенных ситуациях микрообъект сможет вести себя как корпускула. Фактически процедура квантования сводится к строгой математической формулировке принципа неопределенности. Как уже указывалось, для корпускулы этот принцип не допускает одновременного существования точных значений координат и импульсов (т.е. классической детерминированной траектории корпускулы). Для квантовой волны принцип неопределенности запрещает одновременное существование амплитуды и фазы волны, что, собственно, и отличает ее от классической детерминированной волны.

Возникает естественный вопрос, какой исходный образ микрообъекта является более правильным, более полным? Ответ на этот

вопрос был найден не сразу. Квантовая теория исторически зарождалась как теория движения микрообъектов (в центре внимания был электрон), кинетическая энергия которых предполагалась существенно меньшей энергии покоя $E_0 = mc^2$. Оказалось, что для таких микрообъектов математические теории, основанные на различных образах микрообъектов, дают в точности одни и те же предсказания, прекрасно согласующиеся с экспериментом. Именно по этой причине долгое время считалось, что говорить об исходном образе микрообъекта не имеет смысла; сосуществование двух различных формулировок квантовой теории рассматривалось как высшее проявление корпускулярно-волнового дуализма. Затем, однако, ситуация изменилась. Между квантовой механикой (использующей в качестве исходного образа частицы) и квантовой теорией поля (основанной на исходном образе волны) с самого начала имелось одно принципиальное отличие: в механике число частиц задавалось сразу, при формулировке теории, а в теории поля число частиц выступало как параметр квантового состояния. Совпадение двух формулировок при низких энергиях обеспечивалось простым физическим обстоятельством: во взаимодействиях частиц низких энергий не могут рождаться новые частицы, энергии просто не хватает, чтобы перейти порог, устанавливаемый энергией покоя новых частиц. Однако при высоких энергиях процесс рождения новых частиц не запрещен законом сохранения энергии, и это явление фактически является самым характерным для ускорительных экспериментов. Но механика в принципе не способна описать эти явления! Еще раз напомним, что число частиц в квантовомеханической системе задается изначально и в дальнейшем остается неизменным. Между тем, теория поля легко справляется с задачей описания рождения новых частиц. Действительно, в теории поля частицы – это кванты волн, даже из классической волновой теории известно, что волны могут излучаться при взаимодействии физических объектов. После квантования излучению новых волн ставится в соответствие рождение новых частиц. Таким образом, **проблема выбора исходного образа микрообъекта однозначно решена экспериментами при высоких энергиях – микрообъекты представляют собой кванты волновых полей.**

Важнейшим следствием основных принципов квантовой теории является неизбежность статистического описания. Наиболее явным образом эта неизбежность следует из принципа неопределенности: мы можем говорить только о вероятностях нахождения квантовой системы в том или ином участке координатного или импульсного пространства (мы имеем в виду так называемые обобщенные координаты и импульсы, которые могут быть введены и для частиц, и для волн). Впрочем, необходимость статистического описания следует и из первых двух квантовых принципов. Можно представить себе, что наличие неустранимых взаимосвязей делает невозможной эволюцию микрообъекта по классическим детерминистическим законам. Тем более это понятно при учете принципа дополнительности, утверждающего, что сами свойства микрообъекта зависят от макроскопической обстановки. Такие жесткие взаимосвязи делают, по-видимому, неразумными предположения о подчинении микрообъекта классической детерминированной динамике. В условиях существования связей, непрерывно действующих на микрообъект, становится просто невозможным включить его в рамки классической динамики. Эксперимент полностью подтверждает это.

Необходимо сказать, что статистическое описание ведется не вполне по правилам классической теории вероятностей, где основным понятием является вероятность того или иного события. В квантовой теории вероятностное описание более изощренно. Классическое понятие вероятности оказалось довольно грубым при описании свойств микрочастиц и происходящих с ними процессов. Оно оттесняется на второй план, а фундаментальную роль теперь играет понятие амплитуды вероятности, своеобразного “квадратного корня” из вероятности. Такое изменение приоритетов предопределено тем, что нам необходимо не только сформулировать вероятностную схему квантовой динамики, но и учесть волновые свойства микрообъектов.

Известно, что одним из важнейших свойств волн является их способность образовывать так называемые суперпозиции – наложения волновых возбуждений друг на друга в некоторой пространственной области. В квантовой теории понятие волны довольно тесно, хотя и не прямо, связано с понятием вероятности. Волновая структура материи от-

ражает вероятностное распределение материи по пространству-времени. Поэтому вероятности также должны удовлетворять принципу суперпозиции. По этим причинам основным объектом квантовой теории является волновая функция, которую также называют амплитудой вероятности (или вектором состояния). В ней содержится информация о возможных состояниях квантового объекта и о распределении вероятностей по этим состояниям (т.е. информация о том, с какой вероятностью реализуется в процессе измерения данное состояние). Иными словами, в соответствие микрообъекту ставится именно волновая функция.

Напомним, что квантовая теория предназначена для описания целостной системы, и помимо микрообъекта существует еще и макрообстановка со своим представителем – прибором-измерителем. В теоретической схеме прибору сопоставлен объект, называемый оператором. Прежде всего он несет информацию обо всех возможных показаниях прибора, взаимодействующего с микрообъектом. Формально математически оператор представляет собой совокупность математических действий, которые надо совершить над волновой функцией, и тем самым поставить в однозначное соответствие свойства микрообъекта и макрообстановки. Среди операторов физических величин выделена роль оператора энергии, который принято называть гамильтонианом (по имени Уильяма Гамильтона, сформулировавшего схему построения механики с выделенной ролью энергии). Этот оператор устанавливает закон квантовой эволюции, который теперь записывается для волновой функции в виде уравнения Шредингера: $i\hbar\partial\Psi/\partial t = H\Psi$. Здесь Ψ – волновая функция микрообъекта, $\hbar$ – постоянная Планка, H – оператор Гамильтона (гамильтониан), $\partial/\partial t$ – частная производная по времени.

Нужно подчеркнуть, что гамильтониан зависит от более простых математических объектов – операторов обобщенных координат и обобщенных импульсов, т.е. от операторов тех величин, для которых и сформулирован принцип неопределенности. Волновая функция, удовлетворяющая уравнению Шредингера, в очень многих, если не во всех, реальных ситуациях представляется как суперпозиция, сумма более простых волновых функций, каждая из которых описывает состояние микрообъекта с определенным значением физической величины. Например, волновая

функция некоторого состояния микрообъекта может быть представлена в виде суммы функций, каждая из которых соответствует состоянию с определенным импульсом. Такое состояние называется волновым пакетом, содержащим распределение квантового микрообъекта по состояниям с определенным импульсом. Волновые пакеты можно построить и по другим физическим величинам, например, по спину, по энергиям и т.д. В начальный момент времени $t=0$ волновая функция описывает квантовый ансамбль микрообъектов, приготовляемый прибором–приготовителем. В общем случае этот прибор создает волновые пакеты. Эволюция микрообъекта от прибора-приготовителя до прибора-регистратора описывается уравнением Шредингера. При этом меняется структура волнового пакета. В некоторый момент времени $t=t_1$ происходит взаимодействие квантового объекта с прибором-регистратором. При этом взаимодействии прибор-регистратор показывает определенное значение физической величины, а математически этому соответствует выделение из пакета одной компоненты, которая и описывает состояние с измеренным значением физической величины. После измерения пакет исчезает (этот факт называется редукцией волнового пакета) и возникает новое физическое состояние, свойства которого предопределены взаимодействием микроскопической системы с прибором-регистратором.

В основе трех общих принципов: целостности, дополнительности и неопределенности лежит представление о существовании некоторых неустранимых связей между микрообъектом и макрообстановкой, обеспечивающих целостность системы “микрообъект+макрообстановка”. Нам известен факт существования этих взаимосвязей и их количественная мера – постоянная Планка, однако следует отдавать себе отчет в том, что природа этих взаимосвязей нам неизвестна. Более того, выяснено, что нельзя пытаться отождествить взаимосвязи, обеспечивающие квантовую целостность, с некоторыми физическими взаимодействиями известного нам типа, связывающими микрообъекты и макрообстановку. Если бы квантовая целостность обеспечивалась такими взаимодействиями, то была бы справедлива теория со скрытыми параметрами, в которой влияние пока

еще неизвестных взаимодействий учитывалась бы статистически. Однако вся совокупность известных нам экспериментальных данных указывает, что квантовые закономерности противоречат положениям теории со скрытыми параметрами. Поэтому мы признаем, что взаимосвязи, обуславливающие квантовую целостность, являются некоторой совершенно новой сущностью.

Может ли вообще быть поставлена задача о познании природы квантовой целостности? Долгое время считалось, что такая задача не имеет смысла. Целостность Мира, одно из проявлений которой – квантовые свойства микрообъектов, рассматривалась как некоторое исходное фундаментальное свойство Мира, как некая исходная абстракция, на которой должна быть основана методология научного исследования. Если мы встанем на такую позицию, то автоматически будем вынуждены признать, что квантовая теория, основанная на принципе целостности, способна полностью описать все физические процессы во Вселенной. Между тем развитие геометродинамики выделяет ряд проблем, которые представляют собой неразрешенные “головоломки” в квантовой теории, к обсуждению которых мы вернемся в последующем. Если тридцать – сорок лет назад после длительного этапа становления в возможностях существующей квантовой теории не возникало серьезных сомнений, и, действительно, огромным по своим масштабам предстало поле ее применимости в современной технике и технологиях, то сегодня многие проблемы встали на повестку дня. Подчеркнем, что существо концепции квантовой физики на протяжении века не изменилось. Мы работаем в прежнем режиме, изначально содержащем в себе трудности философско-мировоззренческого характера. И хотя этот этап был назван неклассическим в сравнении с классическим, полной уверенности в окончательной полноте квантовой теории в описании мира, о чем говорил в ряде своих работ и в многочисленных дискуссиях А. Эйнштейн, до сих пор достигнуто не было. “Во всяком случае нужно, по моему мнению, – писал А. Эйнштейн, – остерегаться того, чтобы при отыскании единой основы для всей физики догматически опираться на схему современной теории” [1, с. 616].

ГЕОМЕТРОДИНАМИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОПИСАНИЯ МИРА

Геометродинамическая концепция, напротив, в своем развитии за истекший век сопровождалась генерацией множества неординарных идей и моделей, причем в исключительно быстром темповом режиме. Обозначим здесь основные вехи этого пути.

1905 год – создание специальной теории относительности (СТО). Мы получаем представления о едином четырехмерном континууме. Электродинамика движущихся сред со скоростями, близкими к скорости света, переписывается в формализме четырехмерного пространства-времени. Устанавливаются границы применимости классической механики для мира малых скоростей. Специальная теория относительности получает детальные экспериментальные подтверждения, становится мощным аппаратом в электродинамике, ядерной физике и физике элементарных частиц.

В период с 1907 по 1915 годы Эйнштейн в полемике и при поддержке ряда крупных физиков и математиков приходит к созданию общей теории относительности – теории, распространяющей принцип относительности на любые системы отсчета и в то же время представляющей из себя более общую теорию тяготения, содержащую в себе теорию тяготения Ньютона как предельный случай.

Динамическим нововведением в общую теорию относительности становится, как уже отмечалось, калибровочный принцип. Нововведением является тот факт, что гравитационное поле здесь не постулируется, а выводится как результат симметрии (инвариантности) лагранжиана теории относительно группы локальных калибровочных преобразований, т.е. требование симметрии порождает определенный конкретный вид взаимодействия. А это уже принципиально новый подход в физике. Благодаря ему современная физика отошла от исторической традиции, согласно которой заранее давалась форма взаимодействий, установленная экспериментально и теоретически описанная. Форма взаимодействия более не постулируется. Физическое взаимодействие проявляет себя с необходимостью в качестве способа для поддержания в мире определенных видов локальных симметрий, т.е. его существование предопределено конкретными симметриями

нашего мира. Теории, в которых взаимодействия не постулируются, а выводятся из требования инвариантности относительно групп определенных локальных преобразований, стали называться калибровочными. Локальная калибровочная инвариантность требует введения дополнительного поля, что означает введение квантов этого поля, посредством которых осуществляется взаимодействие.

В конце 20-х годов XX века Г. Вейль вводит современный вариант калибровочных преобразований и находит группу преобразований, из которых следует вид электромагнитного взаимодействия. Тем самым устанавливается калибровочная природа электромагнитного взаимодействия.

В 1954 году XX века Янгом и Миллсом устанавливается калибровочная природа сильного взаимодействия, что привело к переосмыслению значения калибровочной инвариантности в электродинамике и возрастанию интереса к созданию единой теории, включающей в себя уже четыре типа взаимодействий – гравитационного, электромагнитного, сильного и слабого. Теория Янга-Миллса способствовала второму рождению калибровочного принципа в физике. Важно отметить, что теория слабого взаимодействия создавалась не сама по себе, а оказалась вписанной в единую электрослабую теорию. В отличие от электромагнитного и сильного взаимодействия слабое взаимодействие характеризуется отсутствием ряда глобальных симметрий (нет симметрий относительно замены частиц на античастицы, отражения физических процессов в зеркале, обращения времени). Поиск путей разрешения этой трудности привели Дж. Глэшоу, Уорда и А. Салама к идее объединения электромагнитных и слабых сил единой калибровочной симметрией с последующим спонтанным нарушением симметрии вакуума.

В 1967 году теория электрослабых взаимодействий в окончательном виде была сформулирована С. Вайнбергом и А. Саламом, основы которой нашли экспериментальное подтверждение уже в 1973 году.

Таким образом, все четыре типа взаимодействий описываются калибровочными симметриями, являющимися различными представлениями групп Ли. Сегодня калибровочная природа всех известных физических взаимодействий является основой в осуществлении мечты Эйнштейна по созданию

унифицированной картины мира – единой теории поля.

Использование калибровочного принципа позволяет придать всем видам симметрий, определяющим то или иное физическое взаимодействие, геометрическую интерпретацию. До недавнего времени в физике проводилось четкое разделение на внешние и внутренние симметрии. Внешние симметрии – это симметрии физических объектов в реальном пространстве-времени, называемые также пространственно-временными или геометрическими. Законы сохранения энергии, импульса и момента импульса являются следствиями внешних симметрий. К классу внутренних симметрий относили симметрии относительно непрерывных преобразований во внутренних пространствах, не имеющих, как считалось до середины прошлого века, под собой физической основы, связывающей их со структурой пространства-времени. Такой, к примеру, считалась калибровочная симметрия электромагнитного поля, следствием которой является закон сохранения электрического заряда. Современный этап развития физики раскрывает возможность сведения *всех* внутренних симметрий к геометрическим, пространственно-временным симметриям, что само по себе свидетельствует об очень сложной структуре самого пространства-времени нашей Вселенной.

С середины 70-х годов прошлого века было обнаружено, что калибровочные теории в физике развивают по сути те же идеи, которые играют системообразующую роль в дифференциальной геометрии. С математической точки зрения теория калибровочных полей представляет собой теорию связностей в векторных расслоениях. Фермионные поля (поля вещества) на классическом уровне (до квантования) в принципе допускают интерпретацию как топологические структуры в сечениях расслоений над пространством-временем, а бозонные поля, кванты которых являются переносчиками физических взаимодействий, – как линейные связности на этих расслоениях. Топологическая интерпретация фермионных полей пока рассматривается как теоретическая возможность, последовательная реализация которой требует дополнительных усилий. На том уровне познания, который допускает современный эксперимент, мы можем говорить о четырехмерном пространстве-времени, искривленном гравитацией, в котором имеются

три типа расслоенных структур (электромагнитное, сильное, слабое) плюс поля вещества, которые еще полностью не геометризированы. Фермионные поля, кванты которых сопоставлены кваркам и лептонам, выступают в теории в качестве объектов, внешних к пространству-времени.

Наиболее перспективный подход к полной геометрической унификации частиц и взаимодействий был найден в теории суперсимметрии и в ее обобщении – в теории многомерных суперструн.

В 1971–1972 годах XX века отечественными физиками Ю.А. Гольфандом и Е.П. Лихтманом был предложен математический аппарат преобразований, связывающих бозон и фермион. Оказалось, что повторное применение этих преобразований сдвигает частицу в другую точку пространства-времени, т.е. из суперпреобразований получаются преобразования Пуанкаре. Группа Пуанкаре состоит, как известно, из преобразований Лоренца с учетом вращений и сдвигов в пространстве-времени.

В 1973 году Ю. Весс и Б. Зумино предложили модель суперсимметрии, основная задача которой состоит в построении теории, позволяющей объединить все известные физические взаимодействия в единое суперполе, т.е. выявить то “Единое Бытие”, ту группу суперсимметрии, которая по сей день составляет ненарушаемое основание нашего мира. Математически суперсимметрия соответствует извлечению корня из симметрии Лоренца-Пуанкаре. Физически же она соответствует взаимопревращениям фермионных и бозонных полей. Математический аппарат суперсимметрии получил название квадратного корня из геометрии. Известно, что локальная симметрия относительно преобразований Пуанкаре приводит к общей теории относительности. А это обеспечивает связь между локальной суперсимметрией и квантовой теорией гравитации, которые рассматриваются как теории, имеющие общее содержание. Важно, что уже в простейших суперсимметричных моделях наблюдается резкое сокращение расходимостей, что сразу и определило направление развития квантовой теории гравитации в рамках суперсимметрии. Таким образом, открылись перспективы объединения геометрии и материи в единое геометризированное суперполе, возможно, соответствующее более сложной структуре расслоенного суперпро-

странства. Оказалось, что согласование этой идеи с уже имеющимися экспериментальными данными по спектру наблюдаемых частиц требует перехода к геометрии **многомерного** пространства-времени.

Из вышесказанного становится понятным, что изучение природы расслоений с учетом многомерности является ключевой задачей при построении единой теории поля. И здесь существует несколько подходов.

Первый из них исходит из предположения, что точка, которую мы воспринимаем как элемент четырехмерного пространства-времени, в действительности принадлежит **многомерному пространству**, и внутренние свойства этой точки отражают конкретную специфику этой многомерности. Для описания этой “внешней скрываемости” служат две альтернативные теории – теория Калуца-Клейна и теория бранной структуры пространства-времени.

Второй подход, развиваемый в некоммутативной геометрии, активно разрабатывается французским ученым Аленом Коннесом [2] и содержит в себе представление об элементе многообразия (который в современной теории считается точкой пространства) как о множестве (а не точке), объединяющем дискретные микроструктуры. На малых масштабах понятие точки как элемента континуума становится неудовлетворительным приближением. Движение объекта становится более сложным, чем простое перемещение, и должно описываться дискретной матрицей степеней свободы. Тогда расслоения отражают определенные свойства дискретной структуры. В этом подходе критическому переосмыслению подвергается ортодоксальная методология, используемая в геометрии, состоящая в рассмотрении **непрерывного** континуума, внутренние динамические свойства которого предопределяются спецификой симметрии этого континуума. При этом преобразования симметрии также являются непрерывными. Возникает вопрос, является ли концепция непрерывности континуума первичной? Или же пространственно-временной континуум возникает как способ описания некоторых отношений между объектами, имеющими матричную дискретную структуру [3]?

Если вернуться к рассмотрению теории суперсимметрии, то следует сказать, что ее развитие практически изначально в своем контексте содержало представление о таком

теоретическом объекте, как *суперструна*. Но прежде чем охарактеризовать современное состояние модели суперструн и их роль в построении единой теории поля, вернемся к рассмотрению теории Калуца-Клейна и теории бранной структуры пространства-времени, полная реализация которых и приводит к физике суперструн.

Согласно теории многомерного пространства-времени Калуца-Клейна, дополнительные пространственные измерения сжаты, компактифицированы. Радиус кривизны дополнительных измерений может быть очень малым; во многих теоретических моделях он предполагался равным планковской длине 10^{-33} см. Сильное гравитационное поле, соответствующее малому радиусу кривизны, прижимает все физические объекты к четырехмерной гиперповерхности, что и объясняет отсутствие сигналов о выходе частиц в дополнительные измерения. Отметим, однако, что прямое ограничение, следующее из коллайдерных экспериментов, дает для радиуса кривизны существенно большее верхнее значение порядка 10^{-18} см. К сожалению, мы вынуждены признать, что масштаб компактификации, близкий к квантово-гравитационному пределу 10^{-33} см, будет означать эмпирическую невесомость дополнительных измерений, недоступность их прямого наблюдения.

Первые попытки создания единой теории поля, объединяющей известные к тому времени гравитацию и электромагнетизм, предпринятые Г. Вейлем, основывались на поисках единого геометрического подхода в описании обоих типов взаимодействий в рамках четырехмерного пространства-времени. В дальнейшем Теодор Калуца показал, что математически последовательное объединение гравитации и электромагнетизма в рамках единой калибровочной группы достигается распространением принципа локальной пуанкаре-инвариантности на *пятимерное* пространство-время. И только после компактификации дополнительного измерения расширенное пятимерное пространство-время может рассматриваться как общековариантное четырехмерное пространство-время с дополнительной локальной внутренней симметрией в этом же четырехмерном пространстве-времени. В теории Калуца рассматривался пятимерный цилиндрический мир с пятым пространственно подобным измерением. Калуца получил свои результаты для случая

слабых полей и малых скоростей. В 1926 году О. Клейн устранил эти ограничения, показав, что унификация не связана со слабыми полями и малыми скоростями. Таким образом, была сформулирована теория, получившая название теории Калуца-Клейна, основное содержание которой состоит в геометризации внутренних симметрий. Пятое измерение здесь компактифицируется, вследствие чего мы его как бы и не замечаем, между тем, оно проявляет себя в качестве *электромагнитного поля*.

В 1924 году де Витт доказал возможность допущения более одного дополнительного измерения. Со временем этот результат оказался как нельзя кстати в связи с установлением калибровочной природы сильного и электрослабого взаимодействия.

С 80-х годов прошлого века интерес к теории Калуца-Клейна резко возрастает как раз в связи с развитием теории суперсимметрии. Здесь необходимо отметить, что в действительности суперсимметрия предлагает нам сделать очень нетривиальный шаг в понимании сущности (многомерного) пространства-времени. Понимание, данное нам в непосредственных ощущениях (пусть и усиленных самыми современными приборами), предполагает, что 1) каждая точка пространства-времени задается своими координатами, число которых равно числу измерений; 2) координаты подчиняются обычной коммутативной алгебре, что и делает возможным их измерение макроскопическими приборами. В теории же суперсимметрии базовым является понятие суперпространства, каждая точка которого задается не только обычными координатами, но и некоторым числом существенно неклассических дополнительных координат, алгебра которых некоммутативна. Формально некоммутативным координатам можно сопоставить дополнительные измерения особого типа, которые Виттен предложил называть квантовыми. Суперполя, описывающие геометрию суперпространства, автоматически (без дополнительных математических предположений) имеют как коммутирующие (бозонные), так и антикоммутирующие (фермионные) компоненты. После того, как теория сформулирована в суперпространстве, ее можно тождественно математически переписать в более привычном виде. При этом бозонные калибровочные поля будут описывать измерения пространства-времени с коммутирующей

алгеброй, а их суперсимметричные (фермионные) партнеры будут выглядеть как некоторые вложения в это пространство-время. Однако информация о едином супергеометрическом происхождении бозонных и фермионных полей полностью сохраняется в законах их взаимодействий, что и предоставляет возможность экспериментальной верификации суперсимметрии.

Максимальный успех единой полностью геометризованной теории поля, основанный на суперсимметричном варианте теории Калуца-Клейна, достигнут в 11-мерной супергравитации. Семь пространственных измерений в этой теории компактифицированы до планковских масштабов. В короткий промежуток времени в середине 80-х годов прошлого века казалось, что в рамках этой теории удастся воплотить мечту Эйнштейна – по воспоминаниям Дж. Уилера, целью фундаментальной физики, по мнению Эйнштейна, должно быть “объяснение всех явлений физического мира как проявлений пустого искривленного пространства” [4]. Но на уровне 11-мерной компактифицированной супергравитации такое объяснение дать не удалось. Как оказалось, набор суперполей в этой теории слишком беден для того, чтобы описать все экспериментальные данные, накопленные к моменту ее создания. Существующая математика не позволяет предложить более расширенный вариант единой теории поля, и пока непонятно, насколько этот вердикт является окончательным. Тем не менее, этот этап развития теории оказался очень полезным, так как некоторые варианты 10- или 11-мерных моделей (не полностью геометризованных с точки зрения единой теории поля) могут получить статус одного из секторов теории суперструн.

Бранный подход связан с теоретически предсказанной возможностью того, что многомерное пространство компактифицированным не является, напротив, масштабы движения в дополнительных измерениях макроскопические, сопоставимые с размерами Вселенной. Однако выход в эти измерения затруднен свойствами четырехмерной гиперповерхности, отождествляемой с нашей Вселенной. В рамках этой второй модели предполагается существование некоторых специфических сил сцепления, действующих на объект, находящийся на динамической поверхности, которые и препятствуют отрыву тела. Это и обеспечивает нам существование именно

в трехмерном пространстве и одномерном времени, так как дополнительные измерения оказываются для нас пока энергетически недоступными.

Существуют программы претенциозных экспериментов, которые позволят различить эти две концепции, но, к сожалению, они количественно не прогнозируемы. Так, на Большом адронном коллайдере будет получен предел энергий, при переходе через который может стать возможным выход в дополнительные измерения. Если энергии окажется достаточно, то возникнут специфические эффекты, состоящие в том, что частицы как бы покидают наше пространство-время, а потом возвращаются в него. Данная программа теоретически разработана академиком В.А. Рубаковым [5]. Однако даже при положительном исходе эксперимента мы получим только макроэффект, сами перемины, микроэффекты, останутся, так сказать, за кадром. Тем не менее, положительный результат давал бы основание для дальнейшей разработки бранного подхода.

Начиная с середины 80-х годов XX века и по сей день наиболее перспективным направлением развития фундаментальной физики считается теория суперструн. Один из парадоксов этой теории состоит в том, что за 30 лет ее развития не сложилось общепризнанного понимания, что есть суперструна как физическая реальность.

Обычно говорят, что суперструна – это физическая модель, противопоставленная модели точечной частицы. Точечная частица, по определению, есть бесструктурный объект, характерная же черта суперструны – ее многомерность, наличие большого (даже бесконечного) числа степеней свободы, соответствующих возбужденным состояниям (колебаниям струны). В этой схеме суперструна помещается в суперпространство с заданной геометрией, а физические поля выступают как способ описания колебаний плотно упакованной системы суперструн. Свойства некоторых (далеко не всех) из этих полей совпадают со свойствами полей, описывающих непрерывную искривленную и расслоенную геометрию, т.е. происходит эффективная геометризация физики на масштабах, превышающих масштаб упаковки суперструн. Картина напоминает колыхание нитей в многомерном гобелене. Проблема состоит в том, получим ли мы возможность убедиться в реальности

многообразия, в которое помещен гобелен из суперструн.

Вторая возможная интерпретация менее претенциозна. Суперструне придается статус генератора суперпространства с искривленной и расслоенной геометрией. Иными словами, она рассматривается как формализованный математический способ описания бесконечного числа полей с внутренней иерархией и внутренними согласованными свойствами. Каждая частица и каждый квант – переносчик взаимодействий определяются типом колебаний струны.

Вне зависимости от интерпретации внутренняя математическая структура теории определяется двумя параметрами: первый – натяжение струны, которое определяет спектр масс возбуждений струны и их способность к универсальному гравитационному взаимодействию; второй – калибровочный параметр, описывающий взаимодействия между возбуждениями струны, не сводящиеся к гравитационному. Теория устанавливает определенный предел для размеров струны: в картине “нитей в гобелене” размер отрезков, из которых собираются эти “нити”, имеют порядок планковской длины $l_{pl} = 10^{-33}$ см. При низких энергиях, меньших планковской энергии 10^{19} ГэВ, возбуждаются только те колебания суперструны, которые соответствуют безмассовым и легким частицам. Именно для описания этого сектора теории суперструн можно привлекать суперкалибровочные поля, сначала определенные в многомерном пространстве (в том же пространстве, в котором определена суперструна), а затем после компактификации – в привычном нам пространстве-времени.

Основной физический результат, полученный в теории суперструн, – вполне определенное предсказание допустимых групп суперкалибровочной симметрии и состава безмассовых и легких суперполей. Как оказалось, “легкий” сектор теории суперструн включает наряду с другими все частицы и взаимодействия, фигурирующие в экспериментально проверенной Стандартной Модели взаимодействий кварков и лептонов. Еще одним важным результатом является доказательство того, что компактификация и топология дополнительных пространственных измерений имеют непосредственное отношение к механизмам спонтанного нарушения локальных суперкалибровочных и ряда глобальных симметрий.

Дискретная петлевая гравитация – альтернатива теории суперструн. Расслоения (внутренние симметрии) пространства-времени являются твердо установленным экспериментальным фактом – об этом свидетельствуют детально исследованные свойства фундаментальных взаимодействий. Теория суперструн объясняет возникновение расслоений как следствие внутренней симметрии суперструны и компактификации многомерного суперпространства. В последние годы началось обсуждение альтернативного подхода к проблеме в рамках так называемой петлевой теории гравитации. В этой теории предполагается, что трехмерное пространство не является непрерывным многообразием, а состоит из дискретных блоков, уложенных в некотором пропространстве. Размеры блоков порядка планковской длины, поэтому в процессах, происходящих при низких энергиях, дискретную структуру пространства экспериментально обнаружить практически невозможно. Можно надеяться только на косвенные проявления этой структуры. Принципиально важным является следующее обстоятельство: при переходе к приближенной теории, оперирующей с непрерывным пространством, каждая точка такого пространства в действительности является малым объемом, содержащим большое число квантованных блоков. Последнее означает, что при приближенном описании точки в непрерывном пространстве необходимо придать некоторые внутренние свойства, отражающие ее истинный статус. Как оказалось, для адекватного описания этих свойств необходимо привлечь математический формализм теорий с локальной калибровочной симметрией.

Геометрическая трактовка фундаментальных взаимодействий математически уже реализована в экспериментально проверенной теории элементарных частиц – Стандартной модели электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий кварков и лептонов. Тем не менее, вопрос о физической природе расслоений остается открытым. Физике XXI века предстоит либо сделать выбор между двумя вышеописанными вариантами ответа на этот вопрос, либо предложить какой-либо новый подход к решению проблемы. Как видим, программа геометризации физики, разрабатываемая с самого начала XX века, привела к постановке проблемы, которую предстоит решать теоретически и экспериментально, возможно, на протяжении всего XXI века.

Конец XX века ознаменовался исследованием новой для фундаментальной физики и космологии сферой – в центре внимания теоретических и экспериментальных работ оказалась **физика вакуума**. Новейшая история изучения вакуума в квантовой физике начинается с установления П. Дираком нулевых колебаний квантовых полей. С тридцатых годов XX века на место континуального классического поля приходит представление о поле квантованном. Дирак после создания релятивистской квантовой механики, синтезирующей законы квантовой механики и теории относительности, разработал последовательные правила квантования электромагнитного и электрон-позитронного полей. Впервые были сформулированы представления о виртуальных частицах. Вакуум квантовой теории поля стал рассматриваться как наименее энергетическое состояние квантованного поля, которое, с одной стороны, пусто, так как в нем нет реальных частиц, способных к макроперемещениям, с другой стороны, представляет собой море вспыхивающих и гасящихся всплесков – виртуальных частиц. Эффекты этих колебаний регистрируются, несмотря на их слабую интенсивность, в полном соответствии с предсказаниями теории.

Существенный шаг в изучении вакуума сделан с 60-х годов прошлого столетия в квантовой хромодинамике – теории, описывающей сильные взаимодействия кварков и глюонов. Уже здесь явно обозначалось переплетение геометродинамики и квантовой физики ввиду того, что хромодинамический вакуум имеет геометрическую природу. Сильно связанные флуктуации глюонных и кварковых полей (так называемый кварк-глюонный конденсат) формируются в процессах туннелирования между квантово-топологическими состояниями расслоенного пространства. Сегодня эти процессы мы способны описать лишь в квазиклассическом приближении. Это связано с тем, что в существующей квантовой теории топология пространства имеет статус характеристики макроскопической обстановки, что делает невозможным описать квантово-топологические переходы чисто квантовым способом. Тем самым в физике кварк-глюонного вакуума прозвучал первый предупредительный звонок: мы не можем при решении задач, поставленных

в квантовой хромодинамике, строго провести разделение системы на чисто классическую макрообстановку и чисто квантовые микрообъекты.

В теории электрослабого взаимодействия фигурирует еще одна вакуумная подсистема – хиггсовский конденсат. Необходимость введения этой подсистемы мотивируется следующим образом. Все фермионы и калибровочные бозоны, входящие в Стандартную модель, изначально имеют в ней нулевые массы. В лагранжиане взаимодействий невозможно включить члены с массами частиц, ибо эти члены оказываются неинвариантными относительно калибровочных преобразований. Единственный способ сохранения инвариантности полного лагранжиана состоит в том, чтобы положить массы всех частиц кварков, лептонов и бозонов равными нулю, что явно противоречит эксперименту. Кроме этого, введение масс частиц-переносчиков слабых взаимодействий приводит к математически противоречивой (неперенормируемой) теории. Выход из затруднительного положения был найден Хиггсом, Кибблом и др. [6], разработавшими механизм, посредством которого элементарные частицы приобретают массу вследствие взаимодействия с неинвариантным вакуумом. Для описания импульсно-энергетических характеристик такого вакуума (хиггсовского конденсата) привлекаются скалярные поля со специальными свойствами. Взаимодействия квантовых волновых полей с хиггсовым конденсатом генерируют массы различных частиц. Возбуждения самого конденсата проявляется в виде существования частиц, получивших название “бозон Хиггса”. Открытие бозона Хиггса в 2012 г. в экспериментах на Большом адронном коллайдере явилось блестящим подтверждением вышеизложенных представлений.

Все фундаментальные проблемы физики XXI века в той или иной мере связаны с проблемами физики вакуума. Собственно, XXI в. начался с открытия вакуума в космологических экспериментах в виде темной энергии. Широко известны результаты, полученные в эксперименте WMAP по исследованию реликтового электромагнитного излучения и в астрономических наблюдениях взрывов далеких сверхновых звезд. Установлено, что обычное вещество является носителем только 4 % энергии современной Вселенной, 23 % приходится на частицы “темной ма-

теории”, пока еще не обнаруженные в лабораторных экспериментах, и 73 % – “темная энергия”, носителем которой является космологический вакуум, порождающий эффект глобальной антигравитации (ускоренного расширения Вселенной).

Таким образом, сегодня можно уверенно говорить об экспериментальном подтверждении существования трех вакуумных подсистем: 1) дираковской подсистемы квантовых нулевых колебаний полей; 2) кварк-глюонного хромодинамического вакуумного конденсата; 3) хиггсовского вакуумного конденсата. С точки же зрения высокоэнергетических расширений существующей теории неизбежным является существование и многих других вакуумных подсистем, в том числе и подсистемы квантово-гравитационной природы. Суммарная энергия всех вакуумных подсистем проявляет себя как космологическая темная энергия.

В работе [7] дается развернутое представление о различии известных вакуумных подсистем. В соответствии с экспериментальными данными предполагается, что слоистая симметрия, соответствующая электрослабым взаимодействиям, спонтанно нарушена, т.е. эта структура определенным образом деформирована в однородном пространстве-времени. Этот эффект однородной деформации закрепляется упомянутым выше хиггсовским конденсатом, разлитым по всей Вселенной. Формально математически хиггсовский конденсат рассматривается как состояние скалярного поля (бозонного поля с нулевыми значениями спинов бозонов), взаимодействующего со слоистой структурой, соответствующей электрослабому взаимодействию.

Сама идея построения единой теории физических взаимодействий, симметрия которых скрыта от нас в настоящую эпоху эволюции Вселенной, должна была логически вызвать к жизни идею спонтанного нарушения симметрии. Так, например, если симметрия между электромагнитным и слабым взаимодействиями существует, она не должна проявляться в современном вакууме, и мы вправе предположить асимметричность вакуума в качестве платы за устойчивое состояние системы. После экспериментального подтверждения этой теории идея спонтанного нарушения симметрии вакуума прочно утвердила себя в качестве основного положения в твердом ядре программы построения единой

теории поля. Смысл этой идеи состоит в следующем: при определенных макроусловиях фундаментальные симметрии оказываются в состоянии неустойчивости, не соответствующем минимальному значению энергии. Лагранжиан квантовой теории обладает точной калибровочной симметрией, в рамках которой и происходит объединение всех физических взаимодействий. В то же время вакуум на определенных этапах эволюции Вселенной способен перестраиваться таким образом, что решение уравнений состояния вакуума уже не имеет симметрию исходного лагранжиана. Сам лагранжиан взаимодействий при этом не изменяется, однако в свойствах взаимодействующих квантовых полей симметрия оказывается скрытой из-за того, что волновые поля взаимодействуют не только друг с другом, но и несимметричным вакуумом. В свете вышеприведенных рассуждений возникает вопрос о вписывании скалярного хиггсового поля в геометризованную теорию. Понятно, что надежды на такое решение весьма обнадеживающие, но пока скалярное поле выступает в качестве некоторого дополнительного и самостоятельного элемента теории, вводимого в нее для описания деформации слоистой структуры электрослабого поля.

Подсистема, соответствующая хромодинамическому вакууму, имеет существенно иную природу и связана топологией расслоений с квантово-топологическими явлениями в микромасштабах пространства-времени. Оказалось, что одному и тому же энергетическому состоянию слоистой структуры могут соответствовать ее различные конфигурации, которые не сводятся друг к другу непрерывными преобразованиями. С точки зрения классической физики каждая конфигурация должна соответствовать отдельной Вселенной. Учет законов квантовой физики позволяет говорить о возможности существования отдельных спонтанных туннельных переходов между различными конфигурациями. Эти спонтанные туннельные переходы условно объединяют различные вакуумы в единый хромодинамический вакуум нашей Вселенной со сложной топологической микроструктурой.

Авторы работы [7, с. 312] отмечают, что выделенные вакуумные подсистемы соответствуют современной ступени познания мира, но “уже сейчас понятно, что все эти три подсистемы есть различные проявления единой универсальной вакуумной структуры,

соответствующей описанию мира в терминах единой универсальной геометрии”. Открытие бозона Хиггса подтверждает существование поля возбужденных вакуумных структур на масштабе 10^{-18} см. На повестку дня поставлен вопрос о структуре хиггсовского вакуума. Не исключено, что она также может оказаться квантово-топологической. Тогда все проблемы хромодинамического вакуума перенесутся и в эту область исследований. В любом случае дальнейшее разветвление научного поиска будет основываться на глубокой взаимосвязи, взаимопревращаемости и, конечном счете, неразделяемости подсистем. Потому и используемая в современной характеристике подсистем идеология квантовой физики, согласно которой проводится разделение единой целостности на макрообстановку, представляющую собой собственно вакуум, и микромир, объекты которого интерпретированы в качестве возбуждений вакуума, не может считаться окончательной. Как отмечается, “Важно понимать, что такое разделение на макро- и микромир является приближенным. Но пока такое разделение в теории работает, нам удастся познавать мир методом локально воспроизводимых экспериментов. В этом случае мир как целостная система изучается через свойства подсистем возбуждений, способных к локализации. При этом возникает возможность говорить и о свойствах вакуума, которая обеспечивается коррелированностью обеих подсистем согласно общим принципам имеющихся теорий” [7, с. 312].

Условность разделения вакуума на микро- и макроподсистемы, отличие его от всех известных ранее квантовомеханических проявлений этого разделения состоит в том, что вакуум рассматривается как диссипативное начало, создающее структуры. Он сам порождает свое иное – микроскопическую составляющую – на определенных этапах и в определенных режимах, не наблюдаемых в настоящую эпоху эволюции Вселенной, но четко прописанных в современной физике и имеющих теоретическое и экспериментальное обоснование. При этом, порождая себе противоположное, вакуум не исчезает, а продолжает лежать в основании всего последующего, выполняя роль классических макроусловий, по отношению к которым микрообъекты проявляют свои свойства, т.е. имеет место **оборачивание** вакуума в самого себя. Вакуум, порождая моменты своего самодвижения,

сам же оборачивается частью этого момента. Таким образом, в каждой физической ситуации вакуум выступает как конкретно-всеобщая часть целого, обеспечивая целостные свойства целого.

Современное развитие физики достигло такого уровня, что поставлен вопрос о месте теоретического образа вакуума в структуре физического знания в качестве конкретно-всеобщей части целостной самодвижущейся Вселенной, диссипативная структура которого обеспечивает самоорганизующиеся процессы ее эволюции. Особую роль в становлении такого подхода сыграли идеи академика Я.Б. Зельдовича о вакуумном происхождении нашей Вселенной с ее последующим экспоненциальным расширением. Эта концепция разрабатывалась в разных аспектах в квазидеситтеровской модели Старобинского [8], в работах Я.Б. Зельдовича и Л.П. Грищука [9], где обсуждалась возможность возникновения Вселенной как целого из вакуумного “пузыря”, а также во многих других работах. Начиная с работы Я.Б. Зельдовича и Л.П. Питаевского [10], было понято, что вакуум в искривленном пространстве-времени (в сильном гравитационном поле) по своим свойствам существенно отличается от вакуума в плоском пространстве-времени Минковского. В вакууме, деформированном сильным гравитационным полем, может нарушаться так называемое условие энергодоминантности, в результате чего во Вселенной в целом могут возникать эффекты глобальной антигравитации, приводящие к ускорению ее расширения. Деформации слоистых структур пространства, обычно описываемые неравновесными скалярными полями (Гус, Линде) также могут приводить к быстрому расширению Вселенной. Эти идеи реализованы в инфляционных сценариях эволюции ранней Вселенной [11, 12]. Результаты исследований специализированного телескопа VICEP 2 при измерениях поляризации реликтового излучения свидетельствуют о существовании сильных первичных гравитационных волн. Данные исследований являются новейшими, впервые они озвучены 17 марта 2014 года. Полученные результаты, возможно, подтверждают наличие стадии инфляционного раздувания ранней Вселенной. Объект, ответственный за эту стадию эволюции Вселенной, получил “инфлантонное поле”. Квантовые флуктуации этого поля, раздуваемые инфляцией до громадных мас-

штабов, в конечном счете порождают крупномасштабную структуру Вселенной в виде галактик и их скоплений. Кроме того, в поле инфланта спонтанно рождаются кванты гравитационных волн. К моменту современной Вселенной длины этих волн становятся макроскопическими, и реликтовые фотоны, взаимодействуя с этими волнами, приобретают специфическую поляризацию, измерение которой и было целью эксперимента BICEP 2.

Проблема в том, что инфлантонное поле не содержится в твердом ядре Стандартной модели. Впрочем, о неполноте существующей теории свидетельствует и целый ряд нерешенных ею проблем: Стандартная модель не содержит частиц темной материи; не объясняет число поколений кварков и лептонов, не описывает малые массы и осцилляции нейтрино [13]. Поиск новой физики за пределами Стандартной модели является очередной задачей экспериментальной программы Большого адронного коллайдера. Нет сомнений в том, что ключевыми элементами новой физики будут новые вакуумные подсистемы. **Между тем, мы вынуждены признать, что теории, описывающей эволюцию вакуума, пока нет.**

Итак, каков же итог экскурса в историю становления концепций современной фундаментальной физики? Очевидно, что и квантовая теория поля, и геометризация фундаментальных взаимодействий представляют собой две сложившиеся **прогрессивные** научно-исследовательские программы. Прогрессивные потому, что первая программа имеет громадное добавочное эмпирическое содержание, вторая – широкую “последовательность моделей”, некоторые из которых представлены в настоящей статье. Проблемы, обозначившие себя в обеих программах, указывают на то, что спустя более века назрела необходимость в формировании новой более полной научно-исследовательской программы, в рамках которой можно было бы провести взаимное устранение имеющихся трудностей. Однако, в соответствии с основным тезисом И. Лакатоса, **ни одна из вышерассмотренных концепций не может быть фальсифицирована до тех пор, пока не возникнет новая, которая будет верифицируема** [14]. В подобной кризисной ситуации, как показывает история, всегда проявляет себя интерес к философско-методологическому рассмотрению, поиск стимулов к позитивной эвристике в разрешении имеющихся аномалий, о чем и пойдет речь в нашей следующей работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Эйнштейн А.* Квантовая механика и действительность // А. Эйнштейн. Собр. науч. тр.: В 4 т. Т. 3. М.: Наука, 1966. С. 612–616.
2. *Connes A.* Noncommutative Geometry. San Diego: Academic Press, CA, 1994. 661 p.; *Connes A., Marcolli M.* Noncommutative Geometry, Quantum Fields and Motives. URL: <http://www.alainconnes.org/docs/bookwebfinal.pdf> (дата обращения 05.04.2014).
3. См. подробнее: *Journal of Noncommutative Geometry*. URL: <http://www.emis-ph.org/journals/journal.php?jrn=jncg> (дата обращения 05.04.2014); *Беннаи М., Сахи З.* Аспекты матричной теории и некоммутативная геометрия // Теоретическая и математическая физика. 2005. Т. 145. № 2. С. 181–190.
4. *Уилер Дж.* Предвидение Эйнштейна. М.: Мир, 1970. 112 с. С. 20.
5. *Рубаков В.А.* Большие и бесконечные дополнительные измерения // УФН. 2001. Т. 171. № 9. С. 913–938.
6. *Higgs P.* Broken symmetries, massless particles and gauge fields. *Phys. Rev. Lett.* 1964. Vol. 13. P. 585–587.
7. *Верешков Г.М., Минасян Л.А.* Понятие вакуума и эволюция ранней Вселенной // Современная космология: Философские горизонты. М.: КАНОН+, 2011. С. 308–338.
8. *Старобинский А.А.* Письма в ЖЭТФ // ЖЭТФ. 1979. Т. 30. С. 719.
9. *Grischuk L.P., Zeldovich Ja.B.* Quantum Structure of Space. Time. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1982.
10. *Zeldovich Ja.B., Pitaevskij L.P.* *Cons.Math. Phys.* 1971. Vol. 23.
11. *Guth A.H.* Inflationary Universe: a possible solution of the horizon and flatness problems // *Phys. Rev.* 1981. Vol. 23. P. 347–356; *Guth A.H., Steinhardt P.J.* The inflationary Universe // *Scientific American*. 1984. Vol. 250. № 5. P. 116–128.
12. *Линде А.Д.* Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М.: Наука, 1990. 280 с.
13. *Верешков Г.М., Минасян Л.А.* Новейшая физика элементарных частиц: проблемы и перспективы // Научная мысль Кавказа. 2006. № 3. С. 18–30.
14. *Лакатос И.* Методология исследовательских программ. М.: Ермак, 2003. 382 с.

REFERENCES

1. *Eynshteyn A.* *Kvantovaya mekhanika i deystvitel'nost'. Sbranie nauchnykh trudov* [Quantum mechanics and reality. Collection of scientific papers] in 4 vols. Vol. 3. Moscow, Nauka, 1966, pp. 612–616.

2. Connes A. *Noncommutative Geometry*. Academic Press, San Diego, CA, 1994. 661p.; Connes A., Marcolli M. *Noncommutative Geometry, Quantum Fields and Motives*, available at: <http://www.alainconnes.org/docs/bookwebfinal.pdf> (accessed 5 April 2014).
3. *Journal of Noncommutative Geometry*, available at: <http://www.emis-ph.org/journals/journal.php?jrn=jncg> (accessed 5 April 2014); Bennai M., Sakhi Z. *Teoreticheskaya i matematicheskaya fizika*, 2005, Vol. 145, no 2, pp. 181–190.
4. Uiler Dzh. *Predvidenie Eynshteyna* [The Vision of Einstein]. Moscow, Mir, 1970. 112 p.
5. Rubakov V.A. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 2001, Vol. 171, no 9, pp. 913–938.
6. Grin B. *Elegantnaya Vselennaya* [The Elegant Universe]. Moscow, YPCC, 2004. 288 p.
7. Higgs P. *Phys. Rev. Lett.*, 1964. Vol. 13, pp. 585–587.
8. Vereshkov G.M., Minasyan L.A. Ponyatie vakuuma i evolyutsiya ranney Vselennoy [the Concept of vacuum and evolution of the early Universe]. *Sovremennaya kosmologiya: Filosofskie gorizonty* [Modern cosmology: Philosophical horizons]. Moscow, CANON+, 2011. pp. 308–338.
9. Starobinskiy A.A. *JETP*, 1979, Vol. 30, p. 719.
10. Grischuk L.P., Zeldovich Ja.B. *Quantum Structure of Space. Time*. Cambridge, Cambridge Univ. Press., 1982.
11. Zeldovich Ja.B., Pitaevskij L.P. *Cons.Math. Phys.*, 1971.Vol. 23.
12. Guth A.H. *Phys. Rev.*, 1981, Vol. 23, no 2, pp. 347–356; Guth A.H., Steinhardt P.J. *Scientific American*, 1984, Vol. 250, no 5, pp. 116–128.
13. Linde A.D. *Fizika elementarnykh chastits i inflyatsionnaya kosmologiya* [Particle Physics and inflationary cosmology]. Moscow, Nauka, 1990. 280 p.
14. Vereshkov G.M., Minasyan L.A. *Naučnââ mysl' Kavkaza*, 2006, no 3. pp. 18–30.
15. Lakatos I. *Metodologiya issledovatel'skikh programm* [The Methodology of research programs]. Moscow, Ermak, 2003. 382 p.

18 июля 2014 г.