

УДК 1:53

## НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ ПОСТРОЕНИЯ ТЕОРИЙ ОБЪЕДИНЕНИЯ В ФИЗИКЕ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ\*

*Безлепкин Евгений Алексеевич,*

*Сторожук Анна Юрьевна*

*Институт философии и права Сибирского отделения РАН*

В качестве гипотезы сформулированы необходимые философско-методологические условия построения объединяющей физической теории. Гипотеза применялась к анализу наиболее «успешных» теорий объединения (теория суперструн и теория петлевой квантовой гравитации). Установлено, что как теория струн, так и теория петлевой квантовой гравитации удовлетворяют следующим необходимым философско-методологическим условиям: наличие единого фундаментального объекта (онтологическое условие), преемственность и наличие симметрий высокого уровня (гносеологическое условие), унификация математического языка и стандартизация процедур измерения (методологическое условие). Основной вывод статьи состоит в том, что указанные необходимые условия не являются достаточными, поэтому обе теории объединения не являются окончательными вариантами в решении задачи объединения.

*Ключевые слова:* необходимые условия объединения теорий; преемственность теорий; симметрия; современные подходы к объединению теорий: петлевая квантовая гравитация и теория струн, математизация, простота.

## NECESSARY CONDITIONS OF UNIFIED THEORIES FORMATION IN PHYSICS TODAY

*Evgeny A. Bezlepkin, Anna Yu. Storozhuk*

*Institute of Philosophy and Law of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences*

The philosophical and methodological conditions of unified physical theory formation are formulated as a hypothesis. The hypothesis had been applied to the analysis of the most «successful» unified theories (superstring theory and loop quantum gravity). It was found that the string theory and loop quantum gravity satisfy the following essential philosophical and methodological conditions: there is a fundamental unified object (ontological condition), continuity and high level symmetries (epistemological condition), unification of mathematical language and standardizing of measurement procedures (methodological condition). Since both unified theories are not the final versions of the solution to the unification problem despite the fact that they fulfil necessary conditions, so far the main conclusion of the article is that these necessary conditions are not sufficient.

*Key words:* necessary conditions of unified theory; continuity; symmetry; approaches to unification; loop quantum gravity; string theory; mathematization; simplicity.

### Введение

В основе стремления найти единую (унифицированную) теорию лежит убежденность в онтологическом единстве мира. Если предположить общность онтологической основы природы, то из этого следует и возможность гносеологического

единства, выражающегося как возможность единообразного описания природы с точки зрения одного подхода. Поиск единой теории является актуальной задачей современных естественных наук, в частности физики.

Примеры проявления тенденции к объединению знания в истории физики можно найти, начиная с электродинамики Максвелла (объединение описания оптических, электрических и магнитных явлений) и заканчивая гипотетическими теориями всех взаимодействий — теорией

\* Работа выполнена при поддержке фонда РГНФ № 13–03–00065.

суперструн, теорией петлевой квантовой гравитации и др. Построение объединенной теории фундаментальных взаимодействий в качестве одной из центральных проблем теоретической физики было осознано примерно в середине XX в. Современная теоретическая физика смогла объединить три из четырех известных взаимодействий, однако не в полной мере (стандартная модель).

Анализируя примеры объединения различных теорий в одну более общую, можно выделить характерные особенности процесса объединения. Условно разделим эти особенности на обусловленные (1) онтологическими, (2) гносеологическими и (3) методологическими предпосылками.

С точки зрения *онтологических предпосылок* для построения объединяющей теории характерен выбор единого фундаментального объекта — носителя как материальных свойств, так и переносчика взаимодействий.

Тенденции единства в онтологии проявляются как выстраивание иерархии физических объектов, в основе которой лежат онтологически первичные объекты. Под последними понимаются такие реальные объекты, чье бытие не зависит от других объектов и внешних условий. В современной картине мира — это элементарная частица, существование которой обуславливает существование остальных частиц и их свойств. В картине мира объекты онтологии упорядочиваются «по степени самостоятельности, независимости существования... Высшей степенью реальности обладают абсолютно независимые от условий элементарные сущности, низшей степенью реальности обладают объекты, существование которых полностью зависит от условий, в том числе и от условий наблюдения, т.е. чувственно воспринимаемые явления» [2, с. 13].

Выбор единого фундаментального объекта основан на нескольких онтологических идеях. Идея единства мира, обусловленная идеей всеобщей взаимосвязи явлений и процессов. Идея простоты, обусловленная стремлением выбрать минимум оснований теории при прочих равных условиях (с этой идеей связана идея красоты Эйнштейна).

Создание единой онтологии является необходимым, но недостаточным условием объединения различных специальных научных картин мира. Требуется также унификация эпистемологических стандартов.

*Гносеологические предпосылки* обуславливают формулировку ряда требований, обеспечивающих возможность построения единой теории. Эти требования заложены в методологических принци-

пах физики, которые детерминируют эволюцию физического познания.

К ним относятся, во первых, принцип преемственности — новая теория должна быть согласована с уже имеющимися и включать их как частные случаи. Подобная преемственность предполагает совпадение основных принципов теорий и наличие общих концептуальных структур. Во вторых, принцип симметрии, который требует, чтобы объединенная теория имела более широкую область применения. Последнее обусловлено тем, что именно симметрия делает возможным широкую применимость результатов исследования. Например, физический закон, установленный в определенной лаборатории, применим лишь здесь и сейчас. Универсальность ему придают предположения об однородности и изотропности пространства, которые гарантируют, что явления, протекающие определенным образом в одной области, будут в любой другой пространственной области протекать схожим образом. Для теорий, претендующих на звание «теории всего», требуются более общие виды симметрии. Кроме того, важным требованием к теории является установление законов сохранения, поскольку «общий закон сохранения, конкретизируемый в виде различных частных физических законов сохранения, лежит в основе единой физической картины мира» [7, с. 577].

*С методологической точки зрения* для построения единой теории существенно проведение унификации, понимаемой в данном случае как стандартизация методов, приемов, процедур измерений и т.п. Важна унификация не только эмпирических методов и процедур измерения, но и теоретических методов, в частности методов математизации теории. Принцип математизации — достижение единой теории, как минимум, требует общности математического языка между теориями. Этот принцип обладает мощными синтезирующими свойствами, например, обращаясь к истории электродинамики, можно сказать, что с помощью математического формализма векторного анализа Максвелл пришел к убеждению, что свет представляет собой электромагнитную волну и редуцировал оптику к электромагнетизму, т.е. расширил математический аппарат геометрической оптики математическими понятиями электромагнетизма. Общность математического формализма, по-видимому, зачастую говорит об общности физических процессов, стоящих за этим формализмом.

*Гипотеза*

Сформулируем необходимые условия, которым, с точки зрения философа, должна удовлетворять искомая концепция объединения. Следуя традиционному разделению философии на направления, выделим отдельно онтологические, гносеологические и методологические условия, основанные на вышеперечисленных онтологических идеях и методологических принципах.

*Онтологическое* требование состоит в том, что в основе объединения должен лежать некий единый фундаментальный объект, богатство свойств и отношений которого дает возможность описать все многообразие мира с точки зрения единого подхода. С эпистемологической точки зрения формулирование физических законов возможно, так как существуют инвариантные элементы в процессе познания (сохраняющиеся величины). Поэтому необходимо, чтобы в основании любой физической теории лежали принципы сохранения и симметрии. Кроме того, важность постулирования некоторых фундаментальных принципов обусловлена тем, что они обеспечивают преемственность теорий. Согласованность существующих теорий друг с другом является необходимым условием единства знания.

Возможность построения общей теории *методологически* основана на возможности формулировать физические теории, используя один и тот же минимальный набор физических и философских принципов (например, принцип наименьшего действия). Возможность объединения обуславливается также общностью математического языка в различных областях познания (например, аппарат дифференциального исчисления, теория групп).

Философско-методологический анализ необходимых условий, которым должна удовлетворять объединяющая теория, позволяет сформулировать ряд требований [1].

Онтологические требования:

– для объединения требуется постулирование единой сущности (суперструны, инстантоны и т.д.);

– для объединения требуется обобщение физических принципов (например, обобщение принципа относительности).

Эпистемологические требования:

требуется сохранение преемственности теорий:

а) путем объединения через аналогию (например, теория Максвелла строится на гидродинамических аналогиях, а теория Эйнштейна опирается на формулы электромагнетизма Максвелла);

б) через нахождение взаимосвязи физических констант (например, постоянная скорости света включает в себя относительные магнитные и электрические проницаемости, т.е. объединяет электричество и магнетизм);

в) через объединение частных законов сохранения (например, формула Эйнштейна для энергии является объединением двух законов сохранения классической физики — закона сохранения энергии и закона сохранения массы).

Методологические требования:

математизация:

а) объединение должно отражаться в математическом формализме (например, в обобщении алгебраических объектов в процессе перехода от скаляра к тензорам; тензорный формализм используется для описания объединения электричества и магнетизма);

б) объединение происходит через концептуальные структуры (например, объединение пространств физических теорий от евклидова пространства до пространства Гильберта).

Для нашего анализа необходимо упомянуть о категориальной гипотезе Ю.С. Владимирова [5]. Он выделяет три основных категории физики: (П-В) пространства-времени, (Ч) частиц (фермионы) и (Π) полей переносчиков взаимодействий (бозоны) [5, с. 18]. Категории частиц и полей в современной физике тесно связаны; на гипотетическом уровне категории объединены гипотезой суперсимметрии.

Модель Владимирова показывает, что единая физическая теория должна быть связана со всеми тремя категориями, которые предсказывают ее наиболее общие характеристики. Однако поскольку неизвестно, появятся ли новые категории с развитием физического знания, постольку эта модель может считаться первым приближением среди такого рода моделей. Вместе с тем уже существующие категории и присущие им характеристики физических теорий, по нашему мнению, являются неизменной (однако могут быть синтезированы или редуцированы) составной частью физического познания.

Для проверки гипотезы о необходимости наличия у объединяющей теории перечисленных выше свойств проанализируем два наиболее авторитетных подхода к объединению: теорию петлевой квантовой гравитации и теорию струн. Задача анализа состоит в проверке соответствия реальных физических теорий дедуктивно выведенным философским требованиям.

## Теория петлевой квантовой гравитации

### *Фундаментальный объект теории*

В 2005 г. Бильсон-Томпсон и Смолин предположили, что теория петлевой квантовой гравитации может воспроизвести Стандартную модель, а также объединить четыре фундаментальных взаимодействия [9, с. 36]. Предположение было основано на введении фундаментального неклассического объекта — брэда. Этот объект соответствует возбужденному состоянию квантованного пространства–времени и может быть представлен как протяженная (двумерная) ленточная структура. Также его можно представить как топологическую складку пространства–времени. Брэды взаимодействуют как точечные структуры и могут переплетаться в тройки. С помощью этой модели удалось построить первое поколение фермионов [13; 14].

С точки зрения принципа объединения введение этого фундаментального объекта можно квалифицировать как редукционистское объединение, возникающее в связи с требованием математизации (использование алгебры спиноров и спиновой сети) и простоты (брэд объединяет три физических категории — «масса», «поле» и «пространство–время»).

Таким образом, теория петлевой квантовой гравитации вводит фундаментальный неклассический протяженный объект, который объединяет в себе основные категории физики, а именно: вещество, взаимодействие и пространство–время. На этом основании можно говорить об удовлетворении требования объяснения и простоты принципа объединения.

### *Размерность пространства–времени в теории*

Следующие соображения описывают концептуальные трудности теории. Обычная квантовая теория предполагает четко определенный классический фон, на котором определяются флуктуации квантовомеханических величин. Колебания метрики, возникающие при квантовании гравитации, подразумевают колеблющуюся причинную структуру. То есть на планковских масштабах исчезают фиксированный пространственно-временной континуум и определенная причинно-следственная связь. Де Витт писал: «Топологические флуктуации могут нарушить макроскопическую размерность пространства. Из-за подобных трудностей некоторые физики предположили, что общепринятое описание пространства–времени как гладкого континуума перестаёт быть пра-

вильным на планковском уровне и должно быть заменено чем-либо другим» [4]. Новые теории пытались преодолеть эту трудность.

Историческая перспектива [16] позволяет выделить линию преемственности физических теорий геометрического подхода: 1950 г. — идея канонического квантования; 1967 г. — уравнение Уилера – де Витта; 1988 г. — петлевая квантовая гравитация; 2000 г. — преонные модели.

В каноническом подходе квантовой гравитации пространственно–временная метрика рассматривается как поле и делаются попытки проквантовать его. В основу положена процедура канонического квантования гамильтониана общей теории относительности, которая предложена Дираком. В 1967 г. Уилер и де Витт на основе этого метода получили обобщение уравнения Шредингера для гравитационного поля. Уравнение Уилера – де Витта является основным уравнением геометродинамики. Однако в этом подходе четырехмерное пространство–время расщепляется, в результате чего происходит потеря релятивистской ковариантности теории, которую требует принцип относительности. Из-за этого результата канонический подход на десятилетие оказался забыт.

Если сравнивать эту теорию с теорией струн, следует сказать, что в данном случае достигается более сильное объединение, поскольку и кванты пространства–времени, и кванты бозонов и фермионов возникают из единого объекта. Ввиду вышесказанного теория петлевой квантовой гравитации, очевидно, является фоновезависимой («геометрия пространства–времени не фиксирована, она является динамической величиной» [4]).

### *Фундаментальный принцип теории*

Теория петлевой квантовой гравитации восходит к геометродинамике Уилера (подход, пытающийся на геометрическом языке объяснить физические явления). Программа Уилера может быть описана следующими словами: «В мире нет ничего, кроме пустого искривленного пространства. Материя, заряд, электромагнетизм и другие поля являются лишь проявлением искривления пространства. Физика есть геометрия» [8, с. 544]. По мнению Уилера, классические объекты физики могут быть интерпретированы геометрически. Например, гравитация «проявляется в искривлении геодезических линий в римановом пространстве»; неквантованный заряд есть «проявление силовых линий, заключенных в “ручку”, образующую многосвязную топологию» [8]. Однако

геометродинамика не смогла объяснить квантовых явлений (например, спин частицы).

Подходы к квантованию гравитации основываются на предположении, что взаимодействия имеют одну и ту же природу. Поскольку трем взаимодействиям соответствуют частицы-переносчики, постольку и для гравитационного взаимодействия должен существовать переносчик — гравитон. Гравитоны взаимодействуют так же, как другие частицы, ввиду чего возможно построить для них диаграммы Фейнмана. Существуют исследования, в которых развивается этот подход. «Гравитация действительно похожа на другие взаимодействия, хотя и с неожиданной точки зрения — она проявляет себя как “двойная копия” сильного ядерного взаимодействия, которая удерживает вместе части ядра. Сильное ядерное взаимодействие передается частицами, которые называются глюонами; гравитация должна передаваться частицами, которые известны как гравитоны. Новое заключается в том, что каждый гравитон ведет себя как два глюона, соединенные друг с другом» [8].

Геометрический подход (геометризация физики) может быть рассмотрен как реализация принципа объединения. Эпистемологическое требование может быть сведено к объяснению физических явлений с единой точки зрения (в данном случае — геометрической). Таким образом, этот подход может быть квалифицирован как синтетическое объединение, продолжающееся до тех пор, пока не будет вскрыта единая сущность всех взаимодействий.

#### *Принцип дискретности*

В 1994 г. Ровелли и Смолин показали, что квантовые операторы новой теории, ассоциированные с площадью и объемом, имеют дискретный спектр. Таким образом, было выяснено, что теория петлевой квантовой гравитации требует квантования пространства–времени. Для его описания использовали идею спиновой сети Пенроуза.

Спиновая сеть является математической моделью для описания физических явлений с помощью дискретных величин. Спиновая сеть основана на идее реляционных отношений (объекты описываются относительно друг друга, а не относительно пространственно-временного фона) и может быть представлена графом. Вершина графа сопоставляется с объемом порядка планковской длины; наличие элементарной частицы или поля обозначается меткой при вершине или, соответственно, при дуге. Изменение положения частиц и полей моделируется дискретными перемещени-

ями меток по графу. «Идея состояла в том, чтобы все необходимые пространственные структуры строились просто из сетки спинов и характеризовались вероятностями... Эти спиновые сети обладают тем свойством, что в каждой вершине сходятся ровно три линии. Это приводит к единообразию при вычислении вероятностей. Всё, что требуется знать, — это топологическая (графическая) структура спиновой сети и значения спина, соответствующие каждой линии» [9, с. 36].

#### *Требование преемственности*

Обратим внимание на отношения преемственности этой теории с классическими теориями: «Квантовая теория гравитации есть квантование ОТО или некоторого обобщения ее, включающего поля материи, такой как супергравитация» [15]. Таким образом, помимо прочего, выполняются требования соответствия и преемственности принципа объединения.

#### *Требование математизации*

В 1986 г. Аштекар переформулировал общую теорию относительности на основе спинорных переменных. Понятие «спинор» является обобщением понятия «вектор» и применяется для описания многих квантовых явлений (например, в уравнении Дирака). Таким образом, стало возможно провести квантование основного уравнения ОТО, используя методы теории возмущений. Некоторое время спустя Якобсон и Смолин показали, что уравнение Уилера – де Витта, переписанное в новых переменных Аштекара, допускает так называемые петлевые решения, с помощью которых удалось построить квантовую теорию гравитации. Петлевые переменные, которые вводятся для достижения общей ковариантности, могут быть интерпретированы геометрически: «вся метрика концентрируется вдоль петли наподобие дельта-функции и полностью исчезает вне петли. “Степень” этой концентрации измеряется значением “спина”, приписываемого этой петле» [12; 15].

На этой стадии реализация принципа объединения происходит под требованием математизации (введение спинорных переменных позволило с помощью одного математического языка рассмотреть как квантовые, так и релятивистские явления) и объяснения (геометрическая интерпретация решений уравнения Уилера – де Витта, полученных на основе введения спинорных переменных).

### *Концептуальные структуры*

Теория возникает из объединения постулатов ОТО, квантовой механики и предположения, что пространство–время дискретно.

Принцип относительности утверждает, что пространственно-временные координаты являются удобным средством описания объектов, однако они не должны играть особой роли в постановке физических законов. Подобную мысль высказал Пенроуз: «Всё должно выражаться через связи между объектами, а не между объектом и некоторым фоновым пространством» [9, с. 781].

Таким образом, пространство–время как фон событий перестает быть значимым; гравитационное взаимодействие представляется только как одно из полей, образующих мир. Реляционная трактовка гравитации представляет собой шаг по направлению к единообразному описанию всех взаимодействий и может быть понята как составная часть принципа относительности. Исходя из сказанного ясно, что теория петлевой квантовой гравитации обобщает принцип относительности Эйнштейна (что является реализацией принципа объединения через требование простоты). В самой теории этот принцип называется принципом диффеоморфной инвариантности («для отображения пространства–времени и построения уравнений можно выбрать любую систему координат. Точка в пространстве–времени задается физически происходящими в ней событиями» [11, с. 580]).

### **Теория суперструн**

#### *Фундаментальный объект теории*

Теория струн возникла на основе модели, в которой элементарные частицы интерпретируются в виде вибрирующих струн. Процедура квантования струны приводит к тому, что она может вибрировать с различными «частотами», которые сопоставляются с элементарными частицами. Энтони пишет: «Подобно тому, как колебания струны скрипки есть набор гармоник, возбуждения “частицы–струны” есть набор точечных состояний. Каждая высшая гармоника “частицы–струны” будет наблюдаться как новая частица с массой больше масс предыдущих частиц. Все частицы, которые мы знаем и, может быть, откроем в будущем, — это низшие гармоники струн» [7, с. 577].

Таким образом, теория вводит новый фундаментальный объект: место точечной частицы занимает протяженная одномерная струна. Оказа-

лось, что некоторые струнные колебания соответствуют свойствам гипотетического кванта гравитационного поля — гравитона. Основываясь на этом, в 1985 г. ученые предположили, что теория струн может описать все элементарные частицы и фундаментальные взаимодействия.

Так начинается процесс объединения квант вещества и поля. С философской точки зрения появление этого объекта можно квалифицировать как редукционистское объединение, основанное на требовании простоты (более простое описание адронов). При этом с точки зрения физики «средняя длина струн оказывается порядка  $10^{-35}$  м — так называемой планковской длины... является столь короткой, что для большинства приложений теории струн не отличаются от теорий точечных частиц» [10, с. 153].

Введение уникального неклассического объекта объединило категории вещества и поля, т.е. произошло их отождествление. Однако это отождествление неполное, поскольку ничего не говорит о взаимной превращаемости частиц поля и частиц вещества. Ввиду этого с точки зрения тенденции объединения знания перед нами неполное редукционистское объединение. Модель гипотетического преобразования фермионов в бозоны и наоборот названа суперсимметрией (имеет статус гипотезы). Соединение теории струн и теории суперсимметрии было названо теорией суперсимметрии.

#### *Теория суперсимметрии*

Поскольку в теорию суперструн включена теория суперсимметрии, постольку ее следует рассмотреть. Теория суперсимметрии связывает частицы материи (фермионы) и частицы полей — переносчиков взаимодействий (фермионы), т.е. на философском уровне связывает категории вещества и взаимодействия. Связь выражена в возможности трансформации частиц одного сорта в частицы другого сорта.

С философской точки зрения суперсимметрия вводит идею суперчастицы, «которая характеризуется стрелкой в некотором вспомогательном многомерном пространстве. По мере вращения этой стрелки частица становится гравитоном, гравитино, фотоном, кварком и т.д. Кванты всех взаимодействий присутствуют в теории, все они объединены и возникают из единого источника» [3, с. 210]. Комбинация суперсимметрии с внутренней симметрией объединяет все частицы в единое семейство, что можно квалифицировать как редукционистское объединение, возникающее

исходя из требования математизации (алгебра Грассмана в суперпространстве) и простоты (суперчастица как объединенный объект).

Вообще идея симметрии как инвариантности математического объекта при преобразовании определенного вида введена А. Эйнштейном, который говорил, что взаимодействия диктуются симметрией. Среди принципов симметрии в современной физике особый статус имеет идея калибровочной симметрии, поскольку на ее основе возможно единообразно построить теории всех четырех взаимодействий. Суть подхода заключается в следующем. Считается, что сразу после большого взрыва все взаимодействия были объединены в «суперсилу», которой соответствовала суперсимметрия. С течением времени и падением температуры суперсила разделялась на различные взаимодействия. Первой отделилось гравитационное взаимодействие, затем сильное, слабое и электромагнитное. Выделение каждого из взаимодействий означало нарушение соответствующей симметрии. Так, при отделении гравитационного взаимодействия были нарушена суперсимметрия. С выделением электромагнетизма была нарушена изотопическая симметрия, связанная с неразличением нуклонов, которые разделились на протон и нейтрон. Таким образом, «на фундаментальном уровне вообще нет никаких приближенных или частичных симметрий, а есть лишь точные симметрии, управляющие всеми взаимодействиями» [15].

#### *Размерность пространства-времени в теории*

Размерность пространства–времени в теории зависит от принятия принципа инвариантности. Например, теория бозонных струн требует 26-мерное пространство–время, а суперструнные теории — 10-мерное. По этому поводу Грин пишет: «Реалистическая теория великого объединения, основанная на группе  $E_6$ , может быть получена как следствие  $E_8 * E_8$  — теории суперструн при условии, что шесть дополнительных измерений образуют так называемое пространство Калаби–Яу... Группа  $E_6$  долгое время рассматривалась в качестве возможной группы теории великого объединения, согласующейся с экспериментальными данными» [6, с. 577]. Предложены два механизма устранения дополнительных размерностей. Во-первых, компактификация дополнительных измерений, т.е. скручивание до размеров планковской длины в геометрический объект, называемый пространством Калаби–Яу. Во-вторых, локализация частиц на четырехмерном

мировом листе (наблюдаемая часть вселенной), который называется браной.

С возможностью выбора пространств Калаби–Яу (существует большое число возможных пространств) связана так называемая проблема ландшафта теории струн. Коротко говоря, каждый из вариантов сведения десятимерной теории к четырехмерной порождает свой физический мир. Всю совокупность возможных реализаций низкоэнергетического мира и называют ландшафтом теории.

Проблема ландшафта ставит вопрос об уникальности (единственности) теории струн: для каждого ложного вакуума приводится в соответствие своя наблюдаемая вселенная. Выбор реализуемого варианта, т.е. нашего мира, может быть проведен только через перебор всех возможных вариантов, что в настоящее время представляется нерешаемой задачей.

Описанные проблемы дают как положительный, так и отрицательный вклад в требование простоты, которому должна удовлетворять физическая теория. С одной стороны, суперструна — фундаментальный объект теории — объединила как бозоны, так и фермионы, став единственным (уникальным) объектом для изучения; с другой стороны, эти суперструны порождают для всего существования бесконечный набор всевозможных миров, выбрать из которых наш мир не представляется возможным.

Кроме того, картину физического мира теории суперструн конструируют из материи (суперструны) и классического пространственно-временного фона. С более глобальной точки зрения можно видеть, что теория струн не объединяет материю и пространство–время в единый (уникальный) объект, что можно констатировать как неполное редуционистское объединение. Однако на сегодняшний день неясно, в какой степени возможно такое объединение.

#### *Фундаментальный принцип теории*

Если с фундаментальным объектом теории струн все более или менее однозначно, то с фундаментальным принципом теории дела обстоят сложнее. Например, общая теория относительности и ее пространственно-временная структура могут быть поняты как следствие принципа эквивалентности; квантовая теория поля может быть понята на основе принципа локальной калибровочной инвариантности. Подобный принцип для теории струн неизвестен. Как пишет Смолин, «теория струн может быть частью конечной квантовой теории гравитации. Однако у нас нет хорошего

определения этой теории, мы не знаем ее фундаментальных принципов... Это как если бы мы имели длинный список решений уравнений Эйнштейна, без знания базовых принципов общей теории относительности» [17].

Следует заметить, что теория струн активно использует вариационные принципы физики. Однако эти принципы являются скорее не физическими, а математическими, связанными с понятиями «действия» и «энергия» для рассматриваемой системы. С философской точки зрения и требования математизации мы имеем как положительные, так и отрицательные моменты: положительным является наличие вариационных принципов, отрицательным — отсутствие фундаментального физического принципа. Впрочем, неизвестно, существует ли настолько общий физический принцип. Возможно, теория сможет включить некоторые существующие принципы, которые подвергнутся обобщению, например принцип относительности.

#### *Требование преэмственности*

В предельных случаях теория струн приводит к квантовой теории поля и общей теории относительности. Это происходит потому, что при создании теории используются более общие идеи (физические и математические), которые вбирают в себя как старое, так и новое содержание. Вот что пишет по этому поводу Б. Грин: «Общая теория относительности и калибровочные теории других взаимодействий следуют из теорий суперструн как приближенные теории, справедливые на расстояниях больше  $10^{-35}$  м. Это указывает на то, что должна существовать гораздо более естественная формулировка теорий суперструн, основанная на некотором обобщении эйнштейновского принципа общей относительности» [6].

#### *Требование математизации*

Существует несколько проблем с математическим аппаратом теории струн. Одна проблема состоит в том, что «уравнения теории струн настолько сложны, что никто даже не знает их точного вида. Физикам удалось найти лишь приближенный вид этих уравнений. Именно эти приближенные уравнения сильно отличаются для разных теорий струн. И именно они в любом из пяти подходов приводят к избытку решений, рогу избытия лишнего вселенных» [9, с. 745]. С выше описанной проблемой связана другая важная проблема, которая заключается в понятии «пертурбативность», или в теории возмущений. Дело в том, что

большая часть теории струн, имея отношения преэмственности с квантовой теорией поля, формулируется пертурбативно (в терминах теории возмущений). Под этим названием в общем виде скрывается метод приближенного решения задач. Несмотря на то что непертурбативные методы достигли большого прогресса, полной непертурбативной формулировки теории струн еще нет.

#### *Проблема формирования концептуальных структур*

Если гравитация действительно похожа на остальные фундаментальные взаимодействия, то она должна передаваться с помощью гравитонов. Однако попытки описать рассеяние гравитонов пока приводят только к бессмысленным предсказаниям, например, бесконечным значениям величин. Это означает, что квантовые флуктуации пространства и времени ведут себя абсолютно хаотично.

Суть проблемы описана Пенроузом: «Теория струн оперирует просто с гладким “классическим” фоном пространства–времени, на который присутствие струны даже не оказывает непосредственного влияния, поскольку невозбужденная струна сама по себе не переносит энергии и не приводит к “искривлению” фонового пространства–времени. Большая часть физиков, занимающихся общей теорией относительности, ожидает, что истинная “квантовая геометрия” внесет некоторые элементы дискретности или, по крайней мере, будет коренным образом отличаться от картины классического гладкого многообразия» [9, с. 745]. То есть проблема связана с описанием гравитонов, которые, по теории относительности, должны быть квантами самого пространства–времени.

#### **Заключение**

По результатам проведенного обзора мы можем составить таблицу, в которой отразим соответствие или несоответствие проанализированных теорий списку необходимых условий.

На основании проведенного анализа можно считать, что дедуктивно выведенная гипотеза о существовании некоторых философско-методологических требований, которым должна с необходимостью удовлетворять единая теория, подтвердилась. Рассмотренные теории основываются на разных физико-философских подходах, которые мы можем условно назвать геометрическим и калибровочным. Если геометрический подход (теория петлевой квантовой гравитации)

связан с признанием и обобщением принципов общей теории относительности — принципа относительности, принципа диффеоморфной инвариантности, реляционной концепции простран-

ства–времени, то калибровочный подход (теория суперструн) придерживается квантовых идей, что выражается в том, что теории являются зависящими от пространственно-временного фона.

Сравнительная таблица наличия необходимых условий объединения у теорий - кандидатов на единую теорию

Наличие необходимого условия	Теория суперструн	Теория петлевой квантовой гравитации
Единая сущность (объекта)	Струны как объединение квант вещества и квант поля. Протяжённые струны на фоновом пространстве–времени.	Брэды как объединение вещества, поля и пространства–времени. Протяжённые волокна (единый объект, формирующий фермионы, бозоны и кванты пространства–времени).
Соответствие и преемственность	В предельных случаях теория приводит к квантовой теории поля и общей теории относительности	В предельных случаях теория приводит к общей теории относительности
Наличие общего закона сохранения	Отсутствие фундаментального физического принципа	
	(?) идея калибровочной инвариантности	(?) диффеоморфная инвариантность
Математизация	Суперсимметрия, вариационные принципы	Спиноры, спиновые сети
Математический аппарат	Алгебра групп Ли как математический аппарат, позволяющий единообразно описать фундаментальные взаимодействия	Геометрический подход, позволяющий единообразно описать фундаментальные взаимодействия
Симметрия	Взаимодействия рассматриваются как калибровочные поля	Калибрует все или часть локальных лоренцевых преобразований

Поскольку оба подхода постулируют существование единого неклассического объекта, постольку выполняется онтологическое условие объединения. Сравнивая эти теории, можно говорить о степени фундаментальности неклассического объекта и, соответственно, о степени объединения теории. В калибровочном подходе можно выделить исключительно простую теорию всего, которая постулирует, во-первых, существование классических частиц, во-вторых, существование первоначальной глобальной симметрии. Этот подход можно назвать *слабым редукционизмом*, поскольку здесь нет единого фундаментального объекта. Следует понимать, что в ходе развития подходов понимание онтологической основы может в корне измениться.

Для обоих подходов характерны преемственность и согласованность с ранее разработанной Стандартной моделью и теорией относительности. В обе теории введены общие принципы симметрии, обе основаны на ряде фундаментальных универсальных принципов. Тем не менее обе тео-

рии не доработаны в области установления общего закона сохранения и потому не являются окончательными версиями «теории всего». Поэтому перечисленные необходимые условия «объединенности» теорий не являются достаточными и не могут служить критериями, позволяющими однозначно установить полный список философских требований к единой теории.

#### Список литературы

1. *Безлепкин Е.А., Сторожук А.Ю.* Онтологический анализ метафизических оснований теории великого объединения // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2013. № 4. С. 5–10.
2. *Белов В.* Ценностное измерение науки. М.: Идея-пресс, 2001. 284 с.
3. *Вайнберг С.* Идеиные основы единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий // Успехи физических наук. 1980. Т. 132, вып. 2. С. 201–217.
4. *Витт Б.С. де.* Квантовая гравитация // В мире науки. 1984. № 2. С. 50–63.

5. Владимиров Ю.С. Метафизика. М.: БИНОМ: Лаборатория знаний, 2002. 550 с.
6. Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. М.: Едиториал УРСС, 2004. 288 с.
7. Грин М. Теории суперструн в реальном мире // Успехи физических наук. 1986. Т. 150, вып. 4. С. 577–579.
8. Мизнер Ч., Уилер Д. Классическая физика как геометрия // А. Эйнштейн и теория гравитации. М., 1979. С. 542–554.
9. Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. М.; Ижевск: ИКИ: НИИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2007. 910 с.
10. Фридман Д., Ньтвенхейзен П. ван. Супергравитация и унификация законов физики // Успехи физических наук. 1979. Т. 128, вып. 1. С. 135–160.
11. Энтони С. Суперструны: всеобъемлющая теория? // Успехи физических наук. 1986. Т. 150, вып. 12. С. 579–583.
12. Bern Z., Dixon L., Kosower D. Loops, Trees and the Search for New Physics. *Scientific American*. 2012. May. P. 34–41.
13. *Bilson-Thompson S.* A topological model of composite preons. URL: <http://es.arxiv.org/abs/hep-ph/0503213> (дата обращения: 25.06.2015).
14. *Bilson-Thompson S.* Quantum gravity and the standard model. URL: <http://arxiv.org/abs/hep-th/0603022> (дата обращения: 25.06.2015).
15. *Smolin L.* Atoms of Space and Time. *Scientific American*. 2004. January. P. 66–75.
16. *Smolin L.* How far are we from the quantum theory of gravity? URL: <http://arxiv.org/abs/hep-th/0303185> (дата обращения: 02.07.2015).
17. *Smolin L.* Three roads to Quantum gravity. N.Y.: Basic Books, 2001. 149 p.
- Physical Sciences]. 1980, vol. 132, iss. 2, pp. 201–217. (In Russian).
4. Witt B.S. de. [Quantum Gravity]. *V mire nauki* [In the World of Science]. 1984, no. 2. pp. 50–63. (In Russian).
5. Vladimirov Yu.S. *Metafizika* [Metaphysics]. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy publ., 2002, 550 p. (In Russian).
6. Greene B. *Elegantnaya Vselennaya. Superstruny, skrytye razmernosti i poiski okonchatelnoy teorii* [The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory]. Moscow, Editorial URSS publ., 2004, 288 p. (In Russian).
7. Green M. [Superstring Theories in the Real World]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Advances in Physical Sciences]. 1986, vol. 150, iss. 4, pp. 577–579. (In Russian).
8. Misner Ch., Wheeler D. [Classical Physics as Geometry]. *A. Eynshteyn i teoriya gravitatsii* [A. Einstein and the theory of gravitation]. Moscow, 1979, pp. 542–554. (In Russian).
9. Penrose R. *Put k realnosti, ili zakony, upravlyayushchie Vselennoy* [The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe]. Moscow, Izhevsk, IKI, NITs Regul'yarnaya i khaoticheskaya dinamika publ., 2007, 910 p. (In Russian).
10. Freedman D. [Supergravity and the Unification of the Laws of Physics]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Advances in Physical Sciences]. 1979, vol. 128, iss. 1, pp. 135–160. (In Russian).
11. Anthony S. [Superstrings: a Theory of Everything?]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Advances in Physical Sciences]. 1986, vol. 150, iss. 12, pp. 579–583. (In Russian).
12. Bern Z., Dixon L., Kosower D. Loops, Trees and the Search for New Physics. *Scientific American*. 2012. May. P. 34–41. (In English).
13. *Bilson-Thompson S.* A topological model of composite preons. URL: <http://es.arxiv.org/abs/hep-ph/0503213> (дата обращения: 25.06.2015). (In English).
14. *Bilson-Thompson S.* Quantum gravity and the standard model. URL: <http://arxiv.org/abs/hep-th/0603022> (дата обращения: 25.06.2015). (In English).
15. *Smolin L.* Atoms of Space and Time. *Scientific American*. 2004. January. P. 66–75. (In English).
16. *Smolin L.* How far are we from the quantum theory of gravity? URL: <http://arxiv.org/abs/hep-th/0303185> (дата обращения: 02.07.2015). (In English).
17. *Smolin L.* Three roads to Quantum gravity. N.Y.: Basic Books, 2001. 149 p. (In English).

Получено 01.10.2015

## References

1. Bezlepkin E. A., Storozhuk A. Yu. [The Ontological Analysis of the Metaphysical Foundations of the Grand Unified Theory]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Filosofiya. Sotsiologiya. Politologiya* [Tomsk State University Journal of Philosophy, Sociology and Political Science]. 2013, no. 4, pp. 5–10. (In Russian).
2. Belov V. *Tsennostnoe izmerenie nauki* [Axiological Dimension of Science]. Moscow, Ideya-press publ., 2001, 284 p. (In Russian).
3. Weinberg S. [Conceptual Foundations of the Unified Theory of Weak and Electromagnetic Interactions]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Advances in

The date of the manuscript receipt 01.10.2015

### Об авторах

#### **Безлепкин Евгений Алексеевич**

аспирант, младший научный сотрудник

Институт философии и права Сибирского отделения РАН,  
630090, Новосибирск, пр. Академика  
Лаврентьева, 17;  
e-mail: evgeny-bezlepkin@mail.ru

#### **Сторожук Анна Юрьевна**

доктор философских наук, старший научный сотрудник

Институт философии и права Сибирского отделения РАН,  
630090, Новосибирск, пр. Академика  
Лаврентьева, 17;  
e-mail: storozhuk@philosophy.nsc.ru

### About the authors

#### **Bezlepkin Evgeny Alexeevich**

Postgraduate Student, Junior Researcher

Institute of Philosophy and Law of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences  
17, Lavrentiev av., Novosibirsk, 630090, Russia;  
e-mail: evgeny-bezlepkin@mail.ru

#### **Storozhuk Anna Yurievna**

Doctor of Philosophy, Senior Researcher

Institute of Philosophy and Law of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences  
17, Lavrentiev av., Novosibirsk, 630090, Russia;  
e-mail: storozhuk@philosophy.nsc.ru

### **Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Безлепкин Е.А., Сторожук А.Ю.* Необходимые условия построения теорий объединения в физике на современном этапе // Вестник Пермского университета. Философия. Психология. Социология. 2015. Вып. 4(24). С. 28–38.

### **Please cite this article in English as:**

*Bezlepkin E.A., Storozhuk A.Y.* Necessary conditions of unified theories formation in physics today // Perm University Herald. Series «Philosophy. Psychology. Sociology». 2015. Iss. 4(24). P. 28–38.