ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВА И ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ: К ПОСТАНОВКЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗМЕРНОСТИ В КОНТЕКСТЕ РАСШИРЕННОЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ*

Н.В.Головко

В предисловии к книге М.Джеммера «Концепции пространства» А.Эйнштейн рассматривает историю понятия пространства как развитие и взаимодействие двух существенно различных концепций: абсолютного пространства и пространства как свойства материальных объектов. В частности, он выделяет четырехмерность как важнейшее свойство пространства-времени и интерпретирует размерность как свойство физического поля. Эйнштейн пишет: «… вся физическая реальность может быть представлена в виде поля, компоненты которого зависят от четырех пространственно-временных параметров… Пространственный характер физической реальности обусловливается в этом случае четырехмерностью поля. … “пустого” пространства, т.е. пространства без поля, не существует» [1]. Что означали эти слова великого физика? Очевидно, что размерность для Эйнштейна – одно из важнейших физических свойств материального мира. Однако в современной науке понятие размерности понимается, как минимум, в двух существенно различных смыслах [2]. Во-первых, в физике четырехмерность пространства-времени как фундаментальное свойство материального мира определяет наиболее общие физические законы. Во-вторых, размерность пространства – центральное понятие топологической теории размерности. Поскольку понятие размерности пространства в математических моделях пространства, используемых физикой, получает наибольшее обобщение в рамках топологии как части

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 06-03-90305 а/Б.

Статья публикуется в авторской редакции.

© Головко Н.В., 2006

математики, то анализ физических представлений о размерности пространства должен учитывать имеющиеся возможности математического описания размерности пространства. Нельзя не отметить тот факт, что топологическая теория размерности не способствовала более глубокому пониманию именно физической проблемы размерности пространства. Это было также очевидно и для Эйнштейна [3]. Поэтому он выбрал другой, естественный для него физический путь – он связал представление о размерности с представлением о непрерывности, но, что наиболее важно, с представлением о «количестве координат», указав тем самым на возможность выражения размерности пространства-времени в метрических понятиях.

Последнее не тривиально. Мы привыкли к тому, что метрические и топологические свойства пространства представляют собой различные «стороны медали», эксплицирующие все многообразие феноменологических и концептуальных свойств пространства-времени. Проблема метрических и топологических свойств является следствием анализа соотношения изучаемого математикой разнообразия свойств концептуальных пространств и возможного разнообразия пространственно-временных свойств, соответствующих различным условиям и уровням изучения явлений [4]. Эйнштейн демонстрирует пример глубокого понимания сути этих свойств. Блестящий пример анализа взглядов Эйнштейна на проблему соотношения метрических и топологических свойств пространства-времени дал Г.Е.Горелик в своей книге «Почему пространство трехмерно?». К сожалению, объем статьи не позволяет нам привести его в достаточно полном объеме, однако необходимо остановиться на одном моменте этого анализа, крайне важном для нас.

Представление Эйнштейна о физическом пространстве-времени соответствует математическому понятию многообразия. Отметим, что понятие размерности многообразия в некотором смысле «тривиальным образом» связано с понятием размерности евклидова пространства [5]. Немаловажным для нашего дальнейшего анализа является тот факт, что любое многообразие, которое мы выбираем для описания пространства, какую бы модель пространства или пространства-времени мы не выбрали – модель трехмерного пустого пространства Ньютона, модель пространства Минковского для специальной теории относительности (СТО) или пространства Римана для общей теории относительности (ОТО), оно, по крайней мере локально,

«устроено» как евклидово – у каждой точки многообразия есть окрестность, топологически эквивалентная евклидовой плоскости. Идея Эйнштейна заключается в следующем: существует «эталон» n-мерности – евклидово пространство. Соответственно, устанавливая определенную связь с этим эталоном, можно говорить о размерности пространства. Для него утверждение о четырехмерности, например, пространства СТО, означает возможность установить между пространством-временем и четырехмерным псевдоевклидовым континуумом Минковского взаимно однозначное и непрерывное соответствие, и ничего более.

Наибольшее удивление, как отмечает Г.Е.Горелик, вызывает тот факт, что, во-первых, тривиальность в топологическом смысле размерности евклидова пространства была показана Брауэром лишь в 1911 г. (напомним, СТО была создана в 1905 г., а ОТО получила окончательное оформление только в 1916 г.). Во-вторых, в математике более общий подход к размерности пространства, чем представление о размерности как о «количестве координат», будет создан Урысоном и Менгером к 1923 г., т.е. через семь лет после создания ОТО и спустя несколько лет после ее экспериментального подтверждения. Удивительно «предвидение» Эйнштейна: «…создание ОТО не требовало более общих математических моделей пространства, чем многообразие, и представлений о размерности иных, чем координатные. Даже последующее развитие физики не выдвинуло никаких альтернатив координатному описанию» [6].

Возможно, многое осталось «скрытым» в том, что Эйнштейн вкладывал в понятие «континуум», когда говорил о неразрывной связи свойств размерности и непрерывности. В частности, можно встретить следующее высказывание Эйнштейна, где он поясняет содержание понятия «континуум»: «Я могу перейти от какой-либо точки поверхности к любой другой точке, переходя большое число раз к «соседним» точкам или, другими словами, переходя от точки к точке без “скачков”. Читатель, по-видимому, достаточно ясно понимает (если только он не очень придирчив), что означает здесь понятие “соседний” и “скачки”. Эту же мысль мы выражаем, утверждая, что поверхность представляет собой континуум» [7]. Итак, мы видим, что для Эйнштейна понятия «непрерывности» пространства, «континуума» не вызывали потребности более глубоко проанализировать их. Данное обстоятельство может показаться довольно странным, т.к. эти поня-

тия нетривиальны уже потому, что в контексте приведенной цитаты можно поставить вопрос – можно ли считать в этом смысле континуумом множество рациональных точек на прямой или их пар на плоскости? Очевидно, что за всем этим скрывались какие-то общие физические соображения. На наш взгляд, эйнштейновское «решение» проблемы размерности, во-первых, связано с глубоким понимаем сути и содержания применения геометрии в механике, а во-вторых, с осознанием того факта, что принцип относительности способен играть в построении теории размерности пространства не только конкретно-научную, но и методологическую роль.

Ниже мы покажем, что необходимость сконцентрироваться только на метрических свойствах пространства-времени при «решении» проблемы размерности (топологической по сути) в рамках СТО могла быть продиктована исключительно математическими, геометрическими соображениями, связанными с интерпретацией понятия «инерциальная система отсчета» (ИСО), а также соответствующей экспликацией галилеевского принципа относительности в контексте физики СТО. Аналогичным образом Эйнштейн поступит при создании ОТО – тот же принцип относительности, будучи проинтерпретированным по-новому вкупе с новой экспликацией понятия ИСО, заставит его «вернуть» топологические «соображения» в контекст «решения» проблемы размерности. Таким образом, мы покажем, что принцип относительности как методологический принцип может играть большую конструктивную роль, чем это традиционно предполагается. Допущение того, что принцип относительности можно считать «фундаментальной симметрией», восстановление которой каждый раз требует изменения представления об ИСО в контексте принимаемых физических ограничений на интерпретацию принципа относительности [8], позволяет нам по-новому взглянуть, в частности, на классическую проблему соотношения метрических и топологических свойств пространства. Приведенные ниже результаты можно считать предварительной постановкой проблемы экспликации топологических свойств физического пространства (непрерывность, размерность, связность) в контексте анализа применимости различных методологических конструктивных средств, играющих роль теоретических ограничений на построение интерпретации теории в области фундаментального естествознания. В качестве положительной эвристики подхода будет предложена оригинальная интерпретация принципа относительности в контексте расширенной специальной теории относительности (РСТО).

Принцип относительности

Традиционно принцип относительности в той форме, как его предложил еще Галилей, интерпретируется как утверждение, связывающее различные ИСО требованием сохранения вида фундаментальных физических законов. На первый взгляд, связь между принципом относительности и эйнштейновским «решением» проблемы размерности отсутствует. Однако внимательный читатель может заметить, что «соседний» и «отсутствие скачков» это не что иное как отражение хорошо известных свойств евклидова пространства «однородности» и «изотропности». По крайней мере, такая интерпретация утверждения Эйнштейна ничему в сущности не противоречит. Свойства однородности и изотропности евклидова пространства составляют суть математического представления об ИСО, физическое содержание которого наполняется принципом относительности. Таким образом, можно рассчитывать на то, что внимательный анализ понятия ИСО и принципа относительности будет способен прояснить содержание эйнштейновского «решения» проблемы размерности, в частности, метаморфозы этого «решения» при переходе от СТО к ОТО. Данное обстоятельство может быть особенно важно в контексте развития принципа относительности, а также расширения наших представлений о структуре и размерности пространства и времени.

Обсуждению принципа относительности и «динамической» взаимосвязи представлений об относительности движения и законов физики в целом в рамках представлений Галилея, в механике Ньютона или в теории относительности Эйнштейна (как специальной, так и общей) посвящено достаточно много литературы как у нас в стране, так и за рубежом [9]. На наш взгляд, одна из наиболее общих стратегий «прийти» к идее относительности – воспользоваться представлением об универсальности законов физики. Законы физики универсальны. В настоящее время, говоря о неизбежности применения в науке концептуального пространства и времени, следует иметь ввиду, что одна из возможных интерпретаций универсальности законов физики связана с представлениями об относительности как о сохранении определенных инвариантных свойств пространства и времени в рамках моделей пространства-времени в специальной и общей теориях относительности.

Суть нашего подхода заключается в следующей методологической установке: принцип относительности работает не только как удобный способ представления и поиска объективных инвариантов для данной модели структуры пространства-времени, но и как регулятив, контролирующий область применения самой модели. Другими словами, принятие принципа относительности «заставляет» нас искать инварианты в описании явлений и в то же самое время указывает на ограниченность нашей модели. Соответственно, цель этой части исследования может состоять в том, чтобы кратко проанализировать эволюцию принципа относительности, его интерпретацию в различных моделях структуры пространства, выявить ограничения, который он накладывает на эти модели, и оценить перспективы его использования для построения новых моделей.

Начнем наш анализ с экспликации понятия «относительность движения», о котором говорит Галилей [10]. Естественно, он не был первым, кто обратил на него внимание, были и предшественники, но он был первым, кто проинтерпретировал его в контексте зарождающейся классической механики, вернее – он задал именно ту интерпретацию относительности движения, которая позволила классической механике начать развиваться. В 1632 г. вышла его книга «Диалог о двух главнейших системах мира: птоломеевой и коперниковой», где Галилей формулирует и обосновывает вывод, что движение (имеются в виду только механические процессы) относительно, т.е. нельзя говорить о движении, не уточнив, по отношению к какому «телу отсчета» оно происходит; законы же движения безотносительны, и поэтому, находясь в закрытом помещении, нельзя никакими опытами установить, покоится ли это помещение или же движется равномерно и прямолинейно («без толчков», по выражению Галилея) [11]. Опираясь на анализ текста, сложно сказать, что думал Галилей о принципе относительности в том виде, как он предстанет перед нами уже у Ньютона, в рамках классической механики. Скорее всего Галилей искал (и нашел!) аргументы в пользу независимости движения от вращения Земли против точки зрения Аристотеля, опиравшегося на идею неподвижной Земли. *Принцип относительности*, как утверждение, что *во всех «хороших» системах отсчета все механические процессы описываются одинаковым образом* – это, вне всякого сомнения, изобретение Ньютона, который руководствовался уже не только физическими соображениями, но и соображениями строго математическими.

Галилей говорит о равномерно движущемся корабле, а Ньютон допускает, что все динамические характеристики системы определяются свойствами евклидовости пространства. Допущение изотропности и однородности физического концептуального пространства является одним из самых сильных допущений, постулированных Ньютоном, – приняв их, становится очевидно, что уравнения движения (сами физические явления) не должны зависеть от скорости движения системы отсчета (изотропия) и от положения начала координат (однородность). Однако сами по себе эти «математические» допущения еще не эксплицируют понятие относительности полностью: нужен некоторый дополнительный физический принцип. Таким принципом является постулат существования *класса* эквивалентных ИСО. Фактически это и есть принцип относительности Галилея – утверждение об «одинаковости» законов физики в различных «хороших» системах отсчета.

Итак, мы видим, что уже первая практическая реализация принципа относительности в том виде, как он был предложен Галилеем, в рамках механики Ньютона накладывает существенные ограничения на сам принцип. В первую очередь речь идет о постулировании симметрий пространства и времени на уровне геометрии (изотропия, однородность), а также о предположении равноправности ИСО на физическом уровне модели. Математически выраженная симметрия свойств трехмерного евклидова пространства (изотропия, однородность) и допущение о существовании класса ИСО полностью отражают сущность математической модели ньютоновского концептуального физического пространства [12].

Перейдем к анализу принципа относительности в рамках СТО. Фактически мы хотим показать, что принцип относительности является неотъемлемой частью развития физики на протяжении уже без малого четырехсот лет, однако накладываемые, в первую очередь, физические, ограничения, каждый раз приводят к видоизменению этого принципа, что находит отражение в самих теориях. Суть принципа относительности остается прежней, однако содержание изменяется за счет введение различных геометрических и физических ограничений. СТО, выступая физической теорией пространства и времени, связывает между собой события, происходящие в различных ИСО. Говоря о физической теории пространства и времени, мы имеем ввиду то, что СТО описывает взаимодействие событий в рамках пустого 4-мерного псевдоевклидова континуума Минковского, связывающего события

через пространственно-временной интервал, являющийся в СТО инвариантом. Отметим, что для собственной системы отсчета пространство сохраняет свойства геометрии Евклида – однородность и изотропность. Как и в случае с механикой Ньютона, относительно которой мы говорим, что ее определяют принцип относительности в совокупности со свойствами пространства Евклида, можно утверждать, что совокупность свойств пространства Минковского «вместе» с принципом относительности полностью определяют механику СТО. Однако в последнем случае мы фиксируем, что принцип относительности в очередной раз подвергся ограничению – под «хорошими» системами отсчета теперь мы понимаем «ограниченно» эквивалентные ИСО. Под «ограниченностью» в данном случае обычно понимают «неравнозначность» изменения пространственной и временной координат, взятых в отдельности.

ОТО, выступая физической теорией пространства, времени и материи, связывает между собой произвольные системы отсчета (в том числе и неинерциальные). Говоря о физической теории пространства, времени и материи, мы имеем в виду то, что ОТО описывает взаимодействие в рамках искривленного 4-мерного пространства Римана, кривизну которого локально определяет расположение гравитирующих масс. Формулировка принципа относительности в данном случае практически не изменится: требуется сохранение (инвариантность) ковариантного вида законов в различных (не обязательно инерциальных) системах отсчета. Говоря о локальности кривизны в ОТО, мы имеем в виду то, что пространственно-временные симметрии в данном случае зависят от произвольных гладких функций пространства и времени, а не от константных параметров (такое различение между локальными и глобальными симметриями было введено Г.Вейлем в 1918 г.). Отметим, что принцип относительности Галилея был отражением не локальной, а глобальной симметрии законов классической механики Ньютона, где речь идет о пространственных и временных сдвигах, пространственном вращении и ускорении. Последнее обстоятельство является чрезвычайно важным.

Фактически Эйнштейн предлагает перейти от «работы с» ИСО к «работе с» локально-инерциальными системами отсчета. В частности, он подчеркивает, что «в силу универсальности ускорения в гравитационном поле следует, что в системе отсчета, движущейся с ускорением, тело, на которое не действуют силы, будет покоиться или двигаться

с постоянной скоростью» [13], т.е. такая система отсчета будет эквивалентна инерциальной системе. Отметим, что это рассуждение справедливо только для случая постоянного гравитационного поля, однако оно справедливо и на практике, поскольку условием реализации является малость размеров тела по сравнению с неоднородностями гравитационного поля. Локально-инерциальная система отсчета будет сохранять свойства однородности и изотропности пространства, т.е. для нее в принципе можно сформулировать свой принцип относительности, аналогичный галилеевскому, – это и будет обобщенный принцип относительности Эйнштейна. Таким образом, принцип относительности, который постулирует эквивалентность ИСО, под влиянием физических требований модели (принцип эквивалентности инертной и гравитационной массы) трансформировался в принцип эквивалентности локально-инерциальных систем отсчета. А для того, чтобы ключевые геометрические свойства однородности и изотропности не были нарушены, мы рассматриваем их «на малых масштабах», предполагая, что поле слабое и постоянное. Переход к локально-инерциальным системам отсчета сохраняет саму идею относительности, искривленное же «в целом» пространство не дает такой возможности.

Таким образом, говоря об эволюции принципа относительности (а фактически о сохранении представления об ИСО), каждый раз при формировании новой теории мы наблюдали «пару»: принцип относительности, практически в том виде как его предложил Галилей, плюс необходимость сохранения евклидовости пространства (ИСО) и некоторое физическое условие, которое и приводило к переинтерпретации самого понятия относительности. В механике Ньютона это условие – эквивалентность класса ИСО, в СТО – максимальность скорости света и как следствие «ограниченная» эквивалентность ИСО, в ОТО – принцип эквивалентности и как следствие эквивалентность локально-инерциальных систем отсчета.

Итак, опираясь на проведенный анализ, мы можем сделать вывод, что принцип относительности – это фундаментальный принцип, «восстановление» (сохранение) которого *заставило* в свое время ввести в соответствующие теории (в соответствии с допускаемыми физическими ограничениями, каждое из которых по своему ограничивало интерпретацию принципа относительности) следующие требования: эквивалентность ИСО (механика Ньютона), «ограниченных» ИСО (СТО) и локально-инерциальных систем отсчета (ОТО). Предполагается,

что эвристический потенциал принципа относительности (взятом в его методологическом значении [14]) при анализе подходов к созданию РСТО способен «подсказать» нам «направление действий».

Принцип относительности и расширенная специальная теория относительности

В последнее время публикуется большое количество работ, авторы которых рассматривают варианты модификации СТО за счет введения в ее аппарат той или иной дополнительной релятивистски инвариантной величины [15]. Однако причины необходимости такого «расширения» СТО в философско-методологическом плане, за редким исключением, оформлены недостаточно содержательно. В работах В.В.Корухова и О.В.Шарыпова вводится представление о расширенной специальной теории относительности (РСТО), которая является своеобразным пределом, ограничивающим область применимости СТО, посредством введения представления о конечных пределах изменения значений всех физических величин, используемых механикой, и набором предельных и инвариантных значений планковских параметров соответствующих величин [16]. На наш взгляд, эта модель РСТО в философско-методологическом плане уже достаточно хорошо обоснована, начина с выявления особой роли, которую в ее построении должны играть фундаментальные физические постоянные (ФФП), продиктованной *hcG*–принципом, и заканчивая иллюстрацией того, что принципиальная модель пространства-времени РСТО – модель релятивистского инвариантного эфира, свободна от традиционных противоречий в описании движения в рамках дискретных или непрерывных моделей структуры пространства [17].

Предположим, мы принимаем принцип относительности в его первоначальном виде. В этом случае мы признаем, в частности, что законы, описывающие физические процессы, сохраняются или имеют одинаковый вид, являются инвариантными или симметричными. Тогда основной вопрос для будущей РСТО состоит в том, чтобы подобрать необходимую «пару», т.е. некое физическое требование (принцип), которое заставит нас переинтерпретировать принцип относительности, а уже сам принцип относительности заставит нас подобрать соответствующий вид ограничения (будет ли и как он связан с ИСО, пока не понятно). Формально мы уже сейчас должны

задуматься над тем, на что должно быть «похоже» «адаптированное» понятие ИСО в РСТО?

Напомним, пространство РСТО – это пространство релятивистского эфира, являющегося асимптотическим пределом для вещественно-полевого уровня реальности, описываемого ОТО и релятивистской квантовой механикой (РКМ) [18]. Единственное объективное свойство пространства РСТО (по крайней мере, очевидное на современном этапе исследований), которое «доступно» вещественному наблюдателю, это релятивистский инвариантный покой этой среды относительно любого инерциального наблюдателя, – *любая система отсчета, которую вещественный наблюдатель свяжет с эфиром, будет всегда сопутствующей*. Данное свойство выражено в кинематическом свойстве релятивистского эфира – $V_{max} \equiv 0$. Таким образом, единственное препятствие на пути физической переинтерпретации принципа относительности в рамках РСТО – адекватная трактовка свойства «инвариантного покоя».

В свое время Эйнштейн предложил один очень продуктивный принцип разрешения подобных проблем: он впервые выдвинул важный методологический прием, который потом распространился на всю физику – он придумал мысленный эксперимент. Суть мысленного эксперимента в том, чтобы представить, как можно измерить то или иное свойство, и предложить операциональный подход к решению данной проблемы. Для того чтобы предложить мысленный эксперимент, который, по крайней мере операционально, проинтерпретирует понятие «инвариантный покой», необходимо привести ряд предварительных замечаний, связанных с самой постановкой задачи «обнаружения» инвариантного покоя в контексте принципа относительности. Во-первых, мы должны предположить, что требования принципа относительности отражают собой определенную *симметрию* законов физики, предположить, что свойство сохранения (относительности, инвариантности) законов физики – это симметрия, которая в общем случае «нарушена» и для «восстановления» которой необходимо прибегнуть к дополнительным физическим соображениям. Отметим, что это предположение нетривиально, поскольку мы привыкли к обратному, к тому, что принцип относительности лишь фиксирует то, что законы физики сохраняются. Раскрывая содержание этой симметрии, мы надеемся прийти к объяснению причин относительности законов физики, что может быть особенно важно в контексте построения РСТО. Во-вторых, мы должны поставить

вопрос относительно *эмпирического статуса* такой симметрии в рамках РСТО. Отметим, что, например, в рамках СТО или ОТО последний вопрос был успешно разрешен благодаря введению представления об эквивалентности соответствующих классов ИСО.

Для того чтобы показать всю исключительность понятия «инвариантный покой» и связанных с ним свойств релятивистского эфира, вновь обратимся к Галилею. Отметим, что, говоря об относительности результатов наблюдений за ходом явлений «на корабле» и «на берегу», Галилей говорит о существовании единой пространственно-временной симметрии, связывающей фактически две системы отсчета. Причем он опирается (заранее предполагает) на тот факт, что «неподвижную» и «движущуюся» системы отсчета можно *эффективно выделить* или отличить одну от другой. На наш взгляд, по-видимому, любые попытки обнаружения «непосредственно эмпирически наблюдаемой» симметрии заранее обречены на провал. Свойство абсолютного инвариантного покоя фактически запрещает нам эффективно выбрать какую-либо систему отсчета в релятивистском эфире – любая выбранная система будет сопутствующей.

Однако, к счастью, можно говорить не только о непосредственно эмпирически наблюдаемой симметрии, но и о *косвенно наблюдаемой симметрии*. Косвенная наблюдаемость симметрии является следствием определенных свойств законов физики, которые как-то связаны с их симметриями. Косвенно наблюдаемая симметрия зависит от различных «общетеоретических» соображений, таких, например, как выполнение антропного принципа или *hcG*-принципа, абдуктивных заключений, что имеющиеся эмпирические данные являются следствием сохранения (нарушения) симметрии и т.д. Ранее мы показали [19], что кинематическое свойство инвариантного покоя релятивистского эфира (пространства РСТО) $V_{max} \equiv 0$ может являться свойством локальной пространственно-временной симметрии. Зададимся вопросом, что (какое свойство) является косвенно наблюдаемым следствием такой локальной симметрии? Естественно, можно рассчитывать только на то, что такая локальная симметрия будет обнаружена только косвенно. Поэтому необходимо найти такое следствие симметрии, которое на нее укажет.

Зададимся более общим вопросом. Что вообще можно считать «эмпирическим» следствием предположения (гипотезы о) существования релятивистского эфира? Вот что пишет по этому поводу

В.В.Корухов: «В таком инвариантно покоящемся в пространстве относительно инерциальных систем эфире, который играет роль “светоносной среды”, всегда оказывается справедливым принцип постоянства скорости света. Тогда и принцип инвариантности движения света относительно любого инерциального наблюдателя является, аналогично принципу относительности, следствием инвариантности покоя эфира относительно тех же инерциальных наблюдателей» [20]. Таким образом, фактически утверждается, что сами принципы СТО являются *свойствами* существования этой гипотетической среды или пространства РСТО.

Другое «эмпирическое» следствие менее очевидно, но гораздо более интересно: «Невозможность обнаружения эфира с помощью равномерного движения должна быть с необходимостью связана с необычным уравнением состояния этой среды. Общая теория относительности рассматривает такую среду [Глинер 1965а], уравнение состояния которой: $P = -\varepsilon$ (P – давление, ε – плотность энергии) – позволяет интерпретировать ее как “макроскопически обладающую свойствами вакуума” [Глинер 1965б]. Именно в такой среде любая инерциальная система отсчета является сопутствующей, в том смысле, что нет относительного движения эфира и вещественного объекта, связанного с этой инерциальной системой» [21]. Э.Б.Глинер назвал такую среду «вакуумоподобной», она по своим механическим свойствам существенно (качественно) отличается от других известных состояний – вещества и поля [22]. На наш взгляд, последний пример может со временем действительно обрести эмпирическое содержание или трактовку, подкрепленную конкретными наблюдениями, а не только оставаться потенциальным «эмпирическим» следствием гипотезы, подтверждение которого будет свидетельствовать в ее пользу. Одна из проблем современной космологии – расширение Вселенной. В частности, инфляционные модели предсказывают наличие в прошлом Вселенной фаз, которые сопровождались «расталкиванием» вещества (пространства), а не только его динамическим расширением, иногда даже говорят о наличии мистической темной энергии, ответственной за это «расталкивание» [23]. Можно предположить, что подобное «расталкивание» является простым следствием специфического уравнения состояния релятивистского эфира – уравнения состояния с отрицательным давлением. Таким образом, проблема того, «в чем» и «почему» расширяется Вселенная, получает свое элегантное решение: Вселенная расширяется, потому что «находится

внутри» релятивистского эфира (что естественно, т.к. это более фундаментальный уровень материи), обладающего характерным уравнением состояния. Конечно, говорить о полной взаимосвязи модели пространства РСТО и современных космологических теорий пока рано, РСТО фактически еще не преодолела статус умозрительной гипотезы, однако возможно, что данное замечание в дальнейшем будет косвенно подтверждено в ходе развития научного знания или послужит необходимой эвристикой развития самой РСТО.

Итак, на наш взгляд, два приведенных примера с некоторыми допущениями можно считать косвенными свидетельствами в пользу РСТО. Соответственно, можно говорить о косвенном подтверждении локальной пространственно-временной симметрии, связанной со свойством инвариантного покоя релятивистского эфира относительно инерциального вещественного наблюдателя ($V_{max} \equiv 0$). В итоге нам осталось лишь проинтерпретировать понятие ИСО для пространства РСТО. Все приведенные выше рассуждения послужат необходимым фоном для проведения мысленного эксперимента, который позволит наглядно представить реализацию принципа относительности в рамках РСТО. Мы привели ряд аргументов в пользу «обнаружения» инвариантного покоя, и они в полной мере сравнимы (аналогичны или, по крайней мере, позиционируются как), например, с рассуждениями Галилея о движущемся и неподвижном корабле или рассуждениями Эйнштейна об эквивалентности равноускоренной и неподвижной, но находящейся «под действием постоянной силы» систем отсчета. Теперь «поместим» свойство инвариантного покоя в контекст принципа относительности в его изначальной галилеевской трактовке и попытаемся наметить новую интерпретацию этого принципа в рамках РСТО.

Поскольку движения относительно релятивистского эфира нет (соответственно, затруднено «непосредственное» введение ИСО), то фактически математическая (геометрическая) модель РСТО должна обладать одним уникальным свойством: в каждой точки пространства должно «восстанавливаться» бесконечно много своих, соответствующих модели РСТО, характерных ИСО. Еще раз: если мы хотим «соответствовать духу» принципа относительности, который привнес еще Галилей, то, говоря о пространстве РСТО, мы должны говорить об особого рода эквивалентности класса предполагаемых ИСО соответствующего вида, причем таких ИСО в каждой точке пространства должно быть бесконечно много. Примечательно, что аналогичные

соображения используются в рамках теории струн ввиду анализа *возможности* существования новой нетривиальной симметрии (дуальности), связывающей между собой различные варианты теории струн [24]. Конечно, возможно, это всего лишь совпадение или аналогия, такая же, как, например, та, которая связывает характерное уравнение состояния релятивистского эфира и возможное объяснение расширения Вселенной (см. выше). В любом случае мы не можем сейчас достаточно обоснованно утверждать, что геометрия пространства РСТО – это геометрия теории струн. Однако если это предположить, то можно предложить следующую интерпретацию принципа относительности для РСТО, – *все ИСО, «восстанавливаемые» в каждой точке континуума, являются эквивалентными и связаны между собой дуальной симметрией*. Этот принцип относительности, а также постулат инвариантного покоя релятивистского эфира относительно любого вещественного наблюдателя могут являться одними из возможных теоретическими оснований для построения РСТО.

Фактически, нам хотелось бы подчеркнуть следующее: на всех этапах своей эволюции о принципе относительности можно говорить как о тандеме – само требование относительности (сохранения) выступает определенного вида симметрией, а дополнительные физические принципы (эквивалентность ИСО, принцип эквивалентности Эйнштейна, инвариантный покой) определенным образом стремятся «восстановить» эту симметрию, что находит отражение в соответствующих математических моделях. Последнее обстоятельство и является реализацией принципа относительности в его методологическом значении относительно построения новой модели пространства-времени.

Заключительные замечания

Вернемся к Эйнштейну и проблеме размерности. Как уже отмечалось, представления Эйнштейна о размерности пространства были тесно связаны с введением координат, однако, естественно, представление о роли и «смысле» координат были различны, в зависимости от модели пространства. На основании проведенного выше анализа принципа относительности обсудим еще раз тезис Эйнштейна о возможности и легитимности выражения топологических свойств размерности в метрических понятиях.

Отметим, что в классической физике и в СТО есть возможность определить размерность пространства или пространства-времени без помощи топологии, т.е. посредством обращения к «количеству координат», используемых в математической модели пространства. Построение декартовой системы координат в классической физике или ИСО в СТО является вполне определенной и выполнимой задачей. По версии Эйнштейна, размерностью в данном случае можно назвать количество координат, необходимое и достаточное для задания положения точки.

Существование выделенного класса ИСО является фундаментальным физическим фактом для СТО. Этот факт на геометрическом языке описывается тем, что выражение интервала в СТО имеет один и тот же вид независимо от величины размерности пространственно-временных координат и независимо от выбора начала координат. Именно это обстоятельство дает возможность говорить о размерности пространства в классической механике или пространства-времени в СТО, вовсе не используя топологических представлений. Сам вид формулы для интервала говорит о размерности пространства.

Что же произошло? Внимательный читатель заметит, что именно выполнение принципа относительности и позволило «свести» топологическое свойство размерности к метрическим соображениям. В данном случае принцип относительности играет роль методологического ограничения: экспликация свойств однородности и изотропности евклидова пространства воспринимается как более фундаментальное свойство модели в угоду исключительно физическим соображениям – сохранению представления о существовании класса эквивалентности ИСО. Можно предположить, что обратного или другого сценария, который позволил бы «восстановить в правах топологические свойства», быть не могло – представление об уникальности топологических свойств возникнет только вследствие изменения взгляда на физическую роль пространства в рамках ОТО.

Теперь зададимся вопросом о том, как заданы координаты в ОТО. Отметим, что в ОТО метрические свойства пространства-времени, как и в СТО, описываются интервалом, величина которого также определяется разностями координат двух точек. Однако не все так просто. Величина интервала в СТО может быть задана для *любой* пары точек, в то время как в ОТО – только локально, т.е. для бесконечно близких друг другу точек. Простой ответ на вопрос о том, как можно понимать

размерность пространства в ОТО, состоит в том, чтобы размерностью называть количество координат, используемых в математической модели ОТО, т.е. количество значимых индексов в выражении для интервала. Но каких координат? В ОТО в общем случае нет обычного понятия ИСО, нельзя установить координаты так, чтобы выражение для интервала принимало стандартный, один и тот же, вид, независимый от выбора начала координат. Геометрические свойства пространства-времени в ОТО в различных точках различны. Поскольку пространство-время в ОТО может быть искривлено произвольным образом, среди систем координат в общем случае нет преимущественных. Поэтому если связывать размерность с числом координат, то эта связь должна существовать в любой возможной системе координат. Но что такое «любая система координат»? В СТО и тем более в классической физике можно было указать физически вполне определенные способы установления системы координат с помощью твердых стержней, часов и лучей света. В ОТО, где допускаются «произвольные» системы координат, такой возможности нет.

СТО, можно сказать, начиналась с придания реального физического смысла временной координате, с отрицания «абсолютной одновременности» и уточнения физического смысла координат: «Уточнение определенных координат связывается со вполне определенным экспериментом, относящимся к измерению положения твердых тел» [25]. ОТО, напротив, приводит к «отказу» от придания координатам физического смысла – признанию равноправности «произвольных» систем координат. «Каждой точке континуума мы произвольно ставим в соответствие числа, которые называются “координатами”. Соседние точки соответствуют соседним значениям координат» [26]. Получается, что прежде чем вводить координаты, уже необходимо знать «непрерывность» пространственно-временного многообразия, необходимо знать, какие точки являются соседними, т.е. знать топологическую структуру пространства. По словам Эйнштейна, «координаты выражают только порядок или степень “близости”, а следовательно, и размерность пространства» [27]. Поэтому в ОТО топологическое представление о размерности пространства оказывается фактически неизбежным. Более того, топологическая структура пространства-времени ОТО считается заданной до введения интервала, т.е. до задания метрической структуры. Единственное ограничение на введение координат – это *согласованность* координат с топологической

структурой пространства-времени. Математический аппарат ОТО, описывающий с помощью уравнений Эйнштейна локальную искривленность пространства-времени, не зависит существенным образом от характера метрики. Мы просто предполагаем, что в пространстве-времени координаты уже заданы «заранее». Обратим внимание, что единственным свойством или характеристикой модели, которая позволяет задать их «заранее», является представление об эквивалентности локально-инерциальных систем отсчета (по аналогии с СТО). Однако в ОТО пространство является искривленным, его свойства являются «динамическими характеристиками» заполненного объема, соответственно задать топологическое свойство в метрических терминах уже не представляется возможным. Обратное возможно только в том случае, если бы ОТО рассматривала эквивалентность ИСО, сохраняющих однородность и изотропность «в большом».

Таким образом, предположение Эйнштейна о том, что о размерности пространства можно говорить на метрическом языке, минуя топологический уровень, оборачивается всего лишь экспликацией реализации методологической роли принципа относительности в соответствующих теориях. Можно сказать, что относительность сохраняет те метрические свойства, экспликация которых действительно позволит говорить о легитимности выражения топологических свойств через метрические. В этом состоит фундаментальная роль принципа относительности как методологического ограничения. Принцип относительности играет роль теоретического ограничения в контексте проблемы соотношения метрических и топологических свойств пространства, в данном случае – размерности. Он позволяет обосновать выбор в пользу «первичности» свойств. Можно надеяться, что аналогичный вывод можно сделать, переходя к анализу и других топологических свойств, например, непрерывности.

Примечания

1. *Эйнштейн А.* Собр. науч. трудов. – М.: Наука, 1967. – Т. 4. – С. 347.

2. См., например, *Горелик Г.Е.* Почему пространство трехмерно? – М.: Наука, 1982.

3. С точки зрения наиболее глубокой на сегодняшний день физической теории пространства-времени – общей теории относительности, физическое пространство имеет структуру четырехмерного псевдориманова многообразия, структура которого локально, т.е. в малой окрестности каждой точки, совпадает со структурой обычного евклидова пространства. Вопрос о «причинах» четырехмерности не ставится.

4. *Метрические свойства пространства* – это свойства, связанные с характеристиками заданной в пространстве метрики (кривизна, конечность и бесконечносгь, изотропность, однородность), т.е. по большому счету связанные с определением понятия «расстояние» в данной модели пространства-времени. *Топологические* свойства «менее очевидны», они, например, описывают связность, симметрию, мерность пространства, непрерывность, одномерность и необратимость времени и т.д. Различия между метрическими и топологическими свойствами удобно представить, обратившись к аналогии пространства и мягкой растяжимой поверхностью. Свойства, которые изменяются при деформации поверхности, являются метрическими. Свойства, которые могут измениться только в следствие разрезания или склеивания различных частей поверхности, являются топологическими. Если положить на поверхность тяжелый шар, то кривизна будет означать изменение геометрии, но топология останется неизменной, свернув поверхность так, чтобы ее противоположные концы соприкасались, мы изменим топологию, превратим ограниченную поверхность в неограниченную.

В настоящее время неясно, какие именно физические явления определяют топологические свойства пространства и времени, т.е. их «качественный» аспект. Неясно также, существует ли взаимосвязь метрических и топологических свойств реального пространства и времени и чем она определяется в материальном мире.

5. Мы говорим, что размерность евклидова пространства равна, если и только если в нем можно выбрать базис из линейно независимых векторов или элемент длины (расстояние между двумя точками) однозначно задается представлением вида $\Delta s^2 = \sum \Delta x_i^2$, где $\sum \Delta x_i$ – приращение соответствующей координаты, $I = 1 \ldots n$.

6. *Горелик Г.Е.* Почему пространство… – С. 63.

7. *Эйнштейн А.* Собр. науч. трудов. – М.: Наука, 1965. – Т. 1. – С. 571.

8. См., например, *Головко Н.В.* Философские вопросы научных представлений о пространстве и времени. Концептуальное пространство-время и реальность: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2006.

9. См., например, *Берке У.* Пространство-время, геометрия, космология. – М.: Мир, 1985. *Франкфурт У.И.* Специальная и общая теория относительности. – М.: Наука, 1968. *Чудинов Э.М.* Теория относительности и философия. – М.: Политиздат, 1974.

10. Наши представления о пространстве и времени историчны, они изменяются в связи с развитием познания природы. Следует отдавать себе отчет в том, какой путь пришлось пройти естествознанию, чтобы, например, отказаться от анизотропного пространства и естественности замкнутых траекторий (Аристотель) в пользу изотропности и бесконечности пространства (Ньютон), а затем, уже на новом витке «спирали познания», вновь ввести представления об искривленности пространства, возможности замкнутой (конечной, но безграничной) Вселенной, естественности финитной траектории (Эйнштейн).

11. См. *Галилей Г.* Диалог о двух главнейших системах мира: птоломеевой и коперниковой. – М.,Л.: ОГИЗ, 1948.

12. См., например, *Розенталь И.Л.* Механика как геометрия. – М.: Наука, 1990.

13. *Эйнштейн А.* Теория относительности: избранные работы. – Ижевск: НИЦ, 2000. – С. 79.

14. См., например, *Симанов А.Л.* Опыт разработки системы методологических принципов естественнонаучного познания // Философия науки. – 2001. – № 1 (9). – С. 3–15. *Головко Н.В.* Методологический фальсификационизм и проблема внеэмпирического обоснования научного знания // Философия науки. – 2002. – № 2 (13). – С. 50–67.

15. Уже предложены варианты расширения СТО путем введения одной или даже двух дополнительных планковских величин. См., например, *Amelino-Camelia G.* Relativity

in Space-time with Short-distance Structure Governed by an Observer-independent (Planckian) Length Scale // Int. J. Mod. Phys. –. 2002. – D11, 35. *Amelino-Camelia G.* Doubly-Special Relativity // Nature. – 2002. – Vol. 418. – P. 34–36. *Kowalski-Glikman J., Smolin L.* Trilpy Special Relativity // Phys. Rev. – 2004. – D 70. 065020.

16. См., например, последние работы: *Корухов В. В., Шарыпов О. В.* О подходах к созданию расширенной специальной теории относительности // Философия науки. – 2005. – № 4 (27). – С. 64–79. *Корухов В. В., Шарыпов О. В.* Структура пространства-времени и проблема физического вакуума: состояние и перспективы // Философия науки. – 2006. – № 1 (28). – С. 20–36.

17. См., например, *Корухов В.В.* Фундаментальные постоянные и структура пространства-времени. – Новосибирск: изд-во НГУ, 2002.

18. Там же.

19. См. *Головко Н.В.* К вопросу о реалистской интерпретации релятивистского эфира // Наука и философия в Сибири: традиции, новации, перспективы. Материалы IX Летней философской школы «Голубое озеро – 2005» – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2005. – С. 41–47.

20. *Корухов В. В.* Фундаментальные постоянные и структура пространства-времени. – Новосибирск: изд-во НГУ, 2002. – С. 87.

21. Там же.

22. См.: *Глинер Э. Б.* Вакуумоподобное состояние среды и фридмановская космология // ДАН СССР. – 1970. – Т. 192, № 4. – С. 771-774.

23. См.: *Дымникова И. Г.* Инфляционная Вселенная с точки зрения ОТО // ЖЭТФ. – 1986. – Т. 90. Вып. 6. – С. 1900–1907.

24. См.: *Маршаков А.В.* Теория струн или теория поля? // УФН. – 2002. – Т. 172, № 9. – С. 977–1020.

25. *Эйнштейн А.* Собр. науч. трудов: В 4 т. – М.: Наука, 1965. – Т. 1. – С. 149.

26. Там же. – Т. 1. – С. 575.

27. Там же. – Т. 2. – С. 755.

Институт философии и права
СО РАН, г. Новосибирск

Golovko, N.V. **On topological characteristics of space and relativity principle connection: the case of dimensionality. (On relativity principle interpretation in the extended special relativity)**

Nearly one hundred years ago Albert Einstein supposes that the topological characteristics of space like dimensionality may be easily replaced by metric consideration of the “number of coordinates”. The purpose of the paper is to show why Einstein such a substitution can do in the special relativity case and why in the general relativity he can’t. The core was his insight on relativity principle. As one of heuristics of our point we propose a possible interpretation of the relativity principle in the extended special relativity.