

Спецрелятивистские онтологии*

Эрекаев В.Д., МГУ, Москва
nature@philos.msu.ru

Аннотация: В рамках методологического анализа принципов и выводов теории относительности автором предложен принцип относительности онтологий. Делается вывод об эквивалентности феноменологии и онтологии, что расширяет предложенную У.Куайном концепцию онтологической относительности.

Ключевые слова: Онтология, теория относительности, пространство-время, объектность, феноменология

Специальная теория относительности стала одним из трех¹ фундаментов революции в физике начала XX века. Создание специальной и общей теорий относительности значительно обогатило наши представления о пространстве, времени и материи. Наши онтологические представления, как представления о различных *формах существования физической объектности*, радикально изменились. Рассмотрим некоторые из них, а также связанную с этими представлениями проблематику.

Специальная теория относительности (СТО), созданная Г.Лоренцем, А.Пуанкаре, А.Эйнштейном и Г.Минковским отвергла существование абсолютного пространства, абсолютного времени и абсолютного движения, а также существование механистического эфира. Она продемонстрировала относительность многих физических понятий и характеристик, которые до нее рассматривались как абсолютные и неизменные. Среди них: время, масса, размеры тел, одновременность. Она показала, что в зависимости от состояния движения и по отношению к различным системам отсчета, они становятся относительными, и стремятся либо к нулю, либо к бесконечности. Изменения этих характеристик тел определяются скоростью движения тела.

СТО раскрыла связь пространства, времени и движения, показав, что пространство и время изменяются в зависимости от состояния движения. Она изменила наши мировоззренческие представления, введя принципиально новую онтологию – 4-мерное пространство-время.

Любопытно, что представления о единстве пространства и времени существовали задолго до появления теории относительности. Уже инки представляли пространство и время единым понятием, и называли его *pacha*. В произведении «О четвероюм корне закона достаточного основания» (1813) А.Шопенгауэр писал: «...только во времени представление сосуществования невозможно; в другой своей половине оно обусловлено представлением пространства, так как только во времени все есть одно после другого, в пространстве же — одно подле другого: таким образом, это представление возникает только из соединения времени и пространства».

Идею о едином пространстве-времени Эдгар По изложил в своем очерке о космологии, озаглавленном «Эврика» (1848): «Пространство и длительность суть одно».

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ. «Проблема новой онтологии в современном физическом познании», проект № 14-03-00452а

¹ Двумя другими были общая теория относительности и квантовая механика.

В романе «Машина времени» (1895) Г.Уэлс писал: «Между временем и тремя измерениями пространства нет никакой разницы, за исключением того, что во времени движется наше сознание», и что «...каждое реальное тело должно обладать четырьмя измерениями: оно должно иметь длину, ширину, высоту и продолжительность существования»². Методологически интересен вопрос о том, могли ли хотя бы некоторые из этих идей стать эвристическими для отцов-основателей? Можно предположить, что кто-то из них читал, скажем Г.Уэлса и Э.По, которые «посеяли зерна».

А.Пуанкаре первым установил и изучил групповую структуру преобразований Лоренца и показал, что эти преобразования представляют собой поворот в пространстве четырех измерений x, y, z, it , тем самым объединив пространство и время в единое четырехмерное псевдоевклидово пространство-время.

Вопрос о реальности существования 4-мерного пространства-времени является важнейшей онтологической проблемой теории относительности. Мнения по этому вопросу различны. Так, с точки зрения Л.Б.Баженова «реальное пространство трехмерно, а понятие n -мерного пространства представляет собой типичный пример математического обобщения»³. И для этого есть основания: любой эксперимент всегда осуществляется в пространстве размерности $3+1$: трех пространственных измерений и одномерного времени. В этом же разбиении $3+1$ выражаются и все экспериментальные результаты.

Г.Минковский же в 1908 г. заявил следующее: «Отныне пространство само по себе и время само по себе должны обратиться в фикции, и лишь некоторый вид соединения обоих должен еще сохранить самостоятельность»⁴. Позднее он писал: «Никто еще не наблюдал какого-либо места иначе, чем в некоторый момент времени, и какое-нибудь время иначе, чем в некотором месте. Точка пространства, соответствующая данному моменту времени, — это «мировая точка», а совокупность всех мировых точек, которые только можно себе представить, — это «мир». Любому телу, существующему некоторое время в пространстве, соответствует некая кривая — «мировая линия». Весь мир представляется разложенным на такие мировые линии, а физические законы могли бы найти свое наисовершеннейшее выражение как взаимоотношения между этими мировыми линиями»⁵. Таким образом, в первом десятилетии XX в рамках специальной теории относительности стало утверждаться, что наш мир 4-мерный и его пространственно-временные характеристики изменяются в зависимости от состояния движения.

Важнейшей формой существования 4-мерного континуума является уже упоминавшаяся неразрывная связь пространства, времени и движения, что видно из выражения для интервала:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2,$$

где движение представлено скоростью света.

Это выражение показывает, что любое изменение любого из слагаемых (например, t или x) сразу же влечет за собой изменение других слагаемых таким образом, чтобы инвариантным (т.е. независимым от этих изменений) осталась величина интервала s^2 . Тем самым эта величина становится некоторой новой фундаментальной физической характеристикой. Другими словами

² Этот исторический материал взят из: Википедия // Пространство-время

³ Баженов Л.Б. Проблема пространства-времени // Философия науки. — Под ред. А.И.Липкина. — М., ЭКСМО. — 2007. — С. 340.

⁴ Минковский Г. Пространство и время // Принцип относительности. — М., Атомиздат. — 1973. — С. 167 (167-180 с).

⁵ Из доклада «Пространство и время» (Кельн. 1908). - <http://www.wikiznanie.ru/> Герман Минковский

пространство и время всегда так перестраиваются, чтобы оставалась инвариантной величина интервала. Интервал же представляет собой расстояние в 4-мерном пространстве-времени. В этом состоит его важнейшее физическое значение, поскольку становится возможным осуществлять измерения.

После создания теории относительности стали говорить о *физической геометрии*⁶. Этот вопрос особенно важен в ОТО. Нетрудно заметить, что в основе этой проблемы находится еще более фундаментальная онтологическая проблема, касающаяся существования самого пространства и времени. И действительно, можно ли с уверенностью говорить о существовании даже привычного 3-мерного пространства? Другими словами, вопрос касается субстанциальной природы нашего пространства. Представляет ли собой пространство некую субстанцию, которая может существовать самостоятельно? Если оно действительно физически реально существует, то, следовательно, физически реально должны существовать все его точки. А это, в свою очередь, должно означать, что с любой из этих точек можно связать систему отсчета. Становятся ненужными, так называемые тела отсчета, с которыми нужно связывать координатные оси, чтобы получить физическую систему отсчета и описывать относительное движение. Сами точки (которые в этом случае следует называть *физическими точками*) реально существующего пространства можно рассматривать в качестве таких тел отсчета и относительно них рассматривать перемещения других тел в пространстве. Пространство (пространство-время) становится механистическим эфиром классической эпохи физики. Насколько это физически корректно? Или все же пространство-время имеет реляционную природу? И действительно, ведь субстанциальное пространство автоматически становится реляционным: раз точки пространства реально существуют, то, следовательно, они являются физическими объектами! С другой стороны они же порождают пространство, как и полагается в реляционной концепции пространства. Можно говорить о том, что пространство отождествляется с материей, воплощая их единство и неразрывность. Тем самым, естественная наука - физика показывает единство двух философских категорий: пространства и материи. Этот вывод будет важен при рассмотрении онтологических аспектов ОТО, в рамках которой единство приобретают пространство, время, движение и материя, а также в планковской физике.

О реляционной природе пространства-времени. Нередко утверждают, что заслугой теории относительности является доказательство реляционной природы пространства и времени. Но так ли это? Одним из аргументов для такого утверждения является то, что теория относительности отвергла абсолютное пространство и абсолютное время Ньютона. Абсолютное ньютоновское пространство имело субстанциональную природу и рассматривалось как «вместилище Бога». Альтернативой субстанциальной природе пространства была реляционная точка зрения, согласно которой никакого самостоятельно существующего пространства нет, пространство есть порядок сосуществования объектов. Очевидно, что в рамках такой аргументации смешаны понятия абсолютного и субстанциального, которые не тождественны.

Другим аргументом является замедление времени и сокращение пространственных характеристик движущихся тел. В классической механике они абсолютны и не зависят от состояния движения.

⁶ Карнап Р., Хан Х., Нейрат О. Научное миропонимание - венский кружок. // <http://www.philosophy.ru/phil/library/carnap/wienerkr.html>; Рылов Ю.А. Принцип деформации как основа физической геометрии и его применение к геометрии пространства-времени // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике. – М., 2004. – №2. – С. 69-96.

Третьим аргументом является существование инвариантного интервала:

$$s^2 = c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2.$$

Поскольку характеристики пространства-времени могут изменяться в зависимости от состояния движения, то это означает их определенную реляционную природу.

Так какова же природа пространства-времени в СТО? Можно ли с уверенностью утверждать о его реляционной природе? По-видимому, все же нет. Пространство-время в этой теории неустранимо. Оно является неотъемлемым фоном, на котором разворачиваются физические события. Но при этом, в зависимости от состояния движения, меняются характеристики пространства и времени.

Один из аргументов о нереляционном характере пространства-времени в СТО можно получить из ОТО. ОТО является обобщением СТО на любые движения, в том числе неинерциальные, а также результатом выявления эквивалентности между гравитационным полем, ускоренным движением и искривлением пространства-времени. Фундаментальное уравнение ОТО – уравнение Эйнштейна,

$$R_{\mu\nu} - 1/2 R g_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$

можно интерпретировать, в частности, следующим образом: геометрия (левая часть уравнения) определяется материей (правая часть уравнения). Другими словами: «материя показывает пространству как искривляться, а пространство показывает материи как двигаться» (Дж. Уилер).

Но это уравнение имеет физический смысл и при тензоре энергии-импульса равном нулю, т.е. при равной нулю правой части

$$R_{\mu\nu} - 1/2 R g_{\mu\nu} = 0.$$

А поскольку энергия и импульс являются неотъемлемыми характеристиками материи, то последнее уравнение можно интерпретировать как существование пространства-времени без всякой материи⁷. Существенно также, что такое *пустое* пространство-время обладает кривизной (тензор $R_{\mu\nu}$ и скалярная кривизна R). Что же тогда искривляет пустое пространство-время? Искривление в данном случае можно рассматривать как самодействие пространства-времени за счет нелинейного характера этого фундаментального уравнения. Другими словами пространство-время имеет нелинейный характер и обладает способностью к самоорганизации, т.е. к формированию геометрических структур. По существу, оно синергетично и способно проявлять эффекты нелинейной самоорганизации. Таким образом, можно прийти к выводу о независимом существовании *пустого пространства-времени*, в то время как в присутствии материи и за счет нелинейности *изменяется геометрия пространства*.

Однако здесь имеется существенная интерпретационная проблема, связанная с принципом эквивалентности. Дело в том, что искривленное пространство-время эквивалентно наличию гравитационного поля. Поэтому можно утверждать, что и в левой части присутствует материальное физическое поле – гравитационное. Оно-то и определяет наличие кривизны пространства-времени, поскольку имеет энергию, а также реляционную природу пространства-времени. Действительно, тем самым принцип эквивалентности задает определенную дуальность или дуализм в ОТО: тяготение-кривизна. Но в рамках ОТО нельзя остановиться только на полевой (гравитационной) трактовке этой теории, поскольку в этом случае будет потеряна специфика самой ОТО. Ее революционный характер как раз и состоит в том, что она

⁷ Благодарю В.П.Визгина за интересные содержательные обсуждения этого вопроса.

первые в науке сумела представить реальное гравитационное поле в виде искривленной геометрии пространства-времени.

Но если пространство-время в ОТО существует самостоятельно, а эта теория является обобщением СТО, то логично предположить, что и частная теория относительности, как ее называл Эйнштейн, должна включать в себя самостоятельно существующее пространство-время. Другими словами и в СТО пространство-время не является чисто реляционным.

Чрезвычайно актуален в современной фундаментальной физике вопрос о природе пространства-времени, прежде всего на планковской уровне. Различные варианты квантовой теории гравитации настаивают на эмерджентности непрерывного, метрического пространства и времени: последнее имеет исключительно макроскопическую природу, а на планковском уровне пространство-время - квантовано. Теория струн дает красивую концепцию пространства как ансамбля когерентных струн⁸.

Исследования показали, что 4-мерный мир разделен на две реальности: пространственно- и времениподобную, каждая из которых обладает специфическими чертами. Времениподобный сектор пространства-времени связан с конусами прошлого и будущего, определяемыми лучами света. В этой части физической реальности осуществляются все досветовые движения и процессы, которые связаны причинно-следственными цепочками. Соответствующие движущиеся объекты называются брадионами.

Пространственно-подобный сектор можно интерпретировать следующим образом: он представляет собой возможную реальность, в которой существуют объекты (гипотетические тахионы), которые всегда движутся со скоростями, превышающими скорость света. В этой области нарушается принцип причинности, и многие привычные процессы выглядят совершенно иначе⁹. Принципиально важно, что СТО не запрещает существование тахионов: необходимо лишь, чтобы эти объекты всегда двигались только со сверхсветовыми скоростями. Запрет же на их существование, как считают некоторые исследователи, следует не из СТО, а обусловлен принципом причинности.

Разбиение 4-мерного пространства-времени на указанные сектора позволяет говорить о существовании трех физических реальностей или миров: Мир тахионов ($v > c$), Фотонная реальность и Мир брадионов ($v < c$), здесь v – скорость движения соответствующего объекта, а c – скорость света.

Брадионный и тахионный миры мы кратко описали. Третий мир, лежащий условно на схеме между ними, представляет собой фотонную реальность. В ней существуют только объекты, движущиеся со скоростью света. В интересующем нас здесь случае - это световые лучи и частицы света, о которых писал еще Ньютон и о квантовом варианте которых говорят квантовая механика и квантовая электродинамика. Однако Ньютон не имел в виду частицы света, движущиеся с постоянной скоростью, а квантовая механика и электродинамика рассматривает эти частицы исключительно как квантовые объекты - фотоны. Нам же пока будет достаточно считать частицы света классическими объектами, но движущимися со скоростью света, что, самое главное, не противоречит СТО.

Этот фотонный мир является своеобразной границей между брадионным и тахионным мирами и выражает важные особенности этих двух миров. А именно: брадион принципиально никогда не сможет достичь скорости света, а тем более ее превзойти, т.е. стать тахионом.

⁸ Грин Б. Элегантная Вселенная – М., УРСС. - 2005. – 286 с. (С. 243).

⁹ См., например: Терлецкий Я.П. Парадоксы теории относительности. – М., Наука. – 1966. – 118 с.; Eef van Beveren, Susana Coito, George Rupp. On the existence of a superlight scalar boson. - (or arXiv:1411.4151v1 [hep-ph]; Киржниц Д.А., Сазонов В.Н. Сверхсветовые движения и специальная теория относительности (вводная статья). // «Эйнштейновский сборник. 1973» - М., Наука – 1974 - С. 84-111; и др.

Тахион же принципиально никогда не сможет замедлиться до скорости света, а тем более двигаться с досветовой скоростью, т.е. стать брадионом. Таким образом, онтология нашего мира может быть следующей: в любой локальной области, например в обычной комнате, могут сосуществовать сразу три мира: брадионный, фотонный и тахионный. Причем мы уже точно знаем, что первые два точно реально существуют.

Дилемма: реальные или мнимые? Один из фундаментальных гносеологических принципов, вытекающий из теории относительности, гласит: любые движения относительны. Теория относительности также утверждает, что все инерциальные системы отсчета равноправны. Это означает, что не существует выделенной системы отсчета и все физические процессы должны выглядеть одинаково в любой из таких систем отсчета. Однако тонкий момент заключается в том, что все это оказывается верным только для «внутренней части» сопутствующей системы отсчета, которая находится в различных инерциальных движениях. Например, знаменитый мысленный эксперимент Галилея «в трюме корабля» говорит о том, что процессы, которые мы наблюдали, когда корабль стоял у пристани, ничем не отличаются от процессов, если корабль пришел в равномерное прямолинейное движение. Это можно сформулировать в виде одной из формулировок принципа относительности: не существует никаких механических и электромагнитных экспериментов, которые бы показали, движемся мы или покоимся. Другими словами, мы не обнаружим никаких различий между одними и теми же процессами, которые происходили в состоянии покоя и инерциального движения.

Однако это не так для разных систем отсчета. А именно, процессы будут выглядеть по-разному для сопутствующего и внешнего наблюдателя. При увеличении скорости, а точнее при инерциальном движении со скоростями, близкими к скорости света эти различия становятся настолько большими, что радикально меняют привычную онтологию: время замедляется, а размеры тел сокращаются. Естественно возникает вопрос о природе подобных изменений. Существует два основных варианта ответа на этот вопрос: 1) это реальные, динамические эффекты и 2) это кинематические, кажущиеся эффекты. По-видимому, можно утверждать, что в настоящее время большинство физиков придерживается кинематической точки зрения. Это означает, что релятивистские эффекты рассматривают как относительные и соответствующие изменения являются кажущимися, поскольку наблюдаются из разных систем отсчета. С самими же телами и процессами никаких реальных изменений не происходит. В системах отсчета, связанных с самими телами, это действительно так, поскольку действует принцип относительности.

Но как же, все-таки, понимать релятивистские эффекты во внешних системах отсчета? Главное состоит в том, что согласно теории относительности все системы отсчета равноправны. То, что наблюдает наблюдатель из каждой системы отсчета существует реально. Поэтому различные наблюдатели видят разные *формы мира*. А поскольку разные формы существования объектности и есть онтология, то существуют различные *кинематические онтологии*. Существуют ли какие-нибудь аргументы в пользу динамической природы релятивистских эффектов? Оказывается, существуют, но для одних эффектов эти аргументы выглядят более убедительно, для других трудно даже сформулировать какое-либо эмпирическое обоснование. Рассмотрим некоторые из подобных аргументов.

Релятивистское сокращение размеров тел. В конце XIX столетия еще до создания СТО в 1892 г Дж. Фитцджеральд и Г. Лоренц выдвинули идею о сокращении размеров тел при движении в эфире. Много внимания выяснению физического смысла сокращению Фитцджеральда уделял А. Эддингтон. Прежде всего, он подчеркивает, что это сокращение

«совершенно не зависит от материала стержня и определяется исключительно его скоростью»¹⁰.

С его точки зрения динамическая природа фитцджеральдовского сокращения тел состоит в следующем: «... наука рассматривает стержень как совокупность электрических частиц, находящихся на сравнительно больших расстояниях друг от друга. ... Когда же стержень приходит в движение, электрические силы, действующие между его частицами, меняются. Движущееся электричество представляет собой электрический ток. Но электрический ток в противоположность покоящемуся электричеству служит источником магнитных сил. Интенсивность этих сил, возникающих благодаря движению зарядов, разумеется по направлению движения одна, а по перпендикулярному направлению – другая. Таким образом, когда стержень, т.е. все составляющие его электрические частицы, приведен в движение, между этими частицами возникают новые магнитные силы взаимодействия. Ясно, что первоначальное равновесие при этом нарушается, и расположение частиц меняется сообразно новому положению равновесия. В частности, меняется протяженность всей системы частиц, т.е. длина стержня»¹¹. Отсюда видно, что сокращение он предлагает трактовать не с точки зрения существования эфира, а релятивистски и электромагнитно.

«Итак, мы видим, что в фитцджеральдовом сокращении нет ничего чудесного. Оно кажется непонятным, только если рассматривать стержень по-старому, - как непрерывную субстанцию, заполняющую пространство...». «Наоборот, оно является совершенно естественным свойством совокупности частиц, равновесие которых поддерживается электромагнитными силами... При движении же стержня возникают новые магнитные натяжения, не связанные ни с какими внешними воздействиями, а являющиеся естественным свойством электрической структуры самого стержня. Под влиянием этих натяжений и происходит сокращение»¹².

Но корректна ли подобная логика? По-видимому, неточность содержится уже в самом начале приведенных рассуждений Эддингтона: «Когда же стержень приходит в движение, электрические силы, действующие между его частицами, меняются. Движущееся электричество представляет собой электрический ток». Если считать, что стержень приходит в движение как целое¹³, а именно это, по-видимому, следует из текста Эддингтона, то в связанной с ним системе отсчета действует принцип относительности. Согласно этому принципу, все законы должны сохранять свой вид в любых инерциальных системах отсчета. Отсюда следует, что не удастся обнаружить различия внутри стержня движущегося и покоящегося.

Кроме того, в этом случае будут отсутствовать относительные движения элементов стержня (например, электронов), что, собственно и могло бы создать электрический ток, о котором говорит Эддингтон. Поэтому отсутствие движения зарядов внутри проводника не ведет к появлению тока, и соответственно к появлению магнитных сил.

¹⁰ Эддингтон А. Относительность и кванты. – М., УРСС. – 2004. – С. 11. (147 с)

¹¹ Эддингтон А. Относительность и кванты. – М., УРСС. – 2004. – С. 12-13. (147 с).

¹² Эддингтон А. Относительность и кванты. – М., УРСС. – 2004. – С. 13. (147 с).

¹³ В реальности, конечно же, абсолютно твердых тел не существует, поэтому воздействующая на изменение состояния движения сила, связанная, например, с рукой человека, воздействует на один из концов стержня локально, сообщая ему ускорение. Именно в этот момент происходит локальное нарушение равновесия в электромагнитной структуре твердого тела. За конечное, очень малое время это воздействие на стержень передается по всему стержню с конечной скоростью и достигает другого конца. При этом в начале стержня воздействие уже прекращается и электромагнитная структура стержня восстанавливается. Но здесь имеет место силовое воздействие, возникают ускорения и движение составляющих структуры является неинерциальным, а следовательно, не описывается СТО.

По-видимому, эффект сокращения размеров имеет совершенно другую природу. Отметим также, что она должна быть универсальной, поскольку этот (и другие эффекты СТО) не связаны с близостью к скорости света, а имеют место при любой скорости движения, что видно из выражения для преобразований Лоренца

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Замедление времени. Как уже отмечалось выше, одним из следствий СТО является эффект замедления времени при движении со скоростями, близкими к скорости света. Замедляется ли время реально при инерциальном движении? Опыты с мюонами¹⁴ и общерелятивистский опыт с часами и башней позволяют дать положительный ответ, хотя много и тех, кто считает этот эффект чисто кинематическим по своей природе.

Проблема релятивистского изменения массы. Еще в 1893г. Дж.Дж. Томсоном была установлена зависимость электромагнитной массы заряда от скорости его движения, а в 1899 г. Лоренц установил зависимость массы любых тел, а не только заряженных частиц, от их скорости¹⁵. В сентябре 1904 года Пуанкаре прочитал лекцию в США, которую закончил словами: «Возможно, нам предстоит построить механику, контуры которой уже начинают проявляться и где возрастающая со скоростью масса сделает скорость света непреодолимым барьером»¹⁶.

В настоящее время массу рассматривают как 4-мерный скаляр, т.е. как неизменяющуюся от скорости величину. Как скаляр она также инварианта при лоренцевых преобразованиях, т.е. по отношению к любым инерциальным системам отсчета.

Довольно обширная аргументация относительно того, почему нецелесообразно вводить релятивистскую массу представлена в работе В.А. Угарова¹⁷. Но насколько она убедительна? Основной акцент в предложенной В.А.Гореловым аргументации действительно сводится к целесообразности. Но могут ли существовать еще какие-то более глубокие аргументы в отношении этого вопроса? Приведем некоторые соображения, которые, конечно же, не могут претендовать на окончательный ответ.

На наш взгляд, основной вопрос в этой проблеме сводится, в конечном счете, к проблеме определения понятия массы. А с этим, как известно, нет ясности уже на протяжении столетий, еще с той поры, когда Ньютон и другие пытались дать определение массы. Так, например, массу можно определить как количество материи в единице объема. Но такой «плотностный» подход имеет ряд недостатков и связан с возникновением логического круга. Массу можно определить как меру инертности. Хорошее определение, но возникает новый вопрос: что такое инерция, и какова ее физическая природа. Если же масса задается бозоном Хиггса, то можно ли теперь с уверенностью говорить о том, что мы понимаем что такое масса? В частности, если масса – результат действия хиггсовского механизма, т.е. является результатом взаимодействия элементарных частиц, то трудно отказаться от мысли, что масса не зависит от состояния движения.

Если инерция – это сопротивляемость изменению состояния движения, то очевидно, что движущееся тело обладает большей сопротивляемостью. Так, изменить состояние покоящейся

¹⁴ Угаров В.А. Специальная теория относительности. – М., Наука. – 1977. – 383 с. (С. 78).

¹⁵ Визгин В.П. Единые теории поля в первой трети XX века. – М., Наука. - 1985. – 303 с. (С. 19).

¹⁶ Рено де ля Тай. Релятивизм Пуанкаре предшествовал эйнштейновскому. -

http://eqworld.ipmnet.ru/ru/education/scientists/poincare_einstein.htm

¹⁷ Угаров В.А. Специальная теория относительности. – М., Наука. – 1977. – 383 с. (С. 338-342).

на столе пули гораздо легче, чем изменить состояние движения пули, вылетевшей из винтовки. Следовательно, инерция движущегося тела больше. А значит больше и его масса.

Но можно считать, что «... мерой инерции тела является не его масса, а его полная энергия E , равная сумме энергии покоя и кинетической энергии»¹⁸. Если кинетическая энергия также дает вклад в инерцию тела, то из того, что она 1) может изменяться, и 2) представляет собой произведения массы на квадрат скорости, в принципе можно допустить, что масса вместе со скоростью также может изменяться. По крайней мере, какого-то строгого запрета на возможность изменения массы из него не следует. Наконец, на наш взгляд, инерция и кинетическая энергия плохо совместимы по своей природе: у них разная физическая суть.

Другое дело, что энергию также как и импульс можно рассматривать как более фундаментальное понятие по сравнению с массой тела, что собственно и имеет место в СТО. Действительно, особенно на масштабе высоких энергий эти величины более фундаментальны. Но тогда нужно решить следующий методологический вопрос: если, скажем, импульс является более фундаментальной физической величиной, и не сводится к произведению массы на скорость, то каков его физический смысл? Может быть, как это уже не раз было в физике, нужно просто привыкнуть к тому, что импульс – более глубокое и первичное понятие, чем масса и скорость? На определенном этапе познания этого может быть вполне достаточно. Но придет время, когда, все же, придется искать ответ и на вопрос что такое импульс.

Другие эффекты. Возникает вопрос о том, реальны ли и все остальные относительные, нерелятивистские (т.е. происходящие на малых скоростях) феномены? Рассмотрим некоторые из них.

1. *Эффект Доплера.* Согласно эффекту Доплера набегающая на наблюдателя звуковая волна воспринимается им как звук с возрастающей частотой, а удаляющаяся – с понижающей. Ярким примером служит подъезжающий и удаляющийся автомобиль, водитель которого нажимает на клаксон. Причем сам водитель будет слышать звук всегда одной тональности. Это – не кажущийся эффект, о чем нередко говорят релятивисты, так как наблюдатель может записать изменение тональности звука на магнитофон, разложить его в спектр и проанализировать, т.е. это приборно фиксируемый феномен.
2. *Магнитное поле вокруг движущегося заряда.* Рассмотрим покоящийся проводник, по которому течет электрический ток. Если теперь этот проводник привести в движение, то вокруг него возникнет магнитное поле. Это означает, что при изменении состояния движения появляется новая сущность – магнитное поле. При этом наблюдатель, связанный с этим проводником не должен наблюдать магнитное поле. Существуют работы, в которых приводится аргументация в пользу того, что магнитное поле не существует не только вокруг движущегося единичного заряда, но и что его нет и в любых других случаях.

«Вокруг одиночного движущегося заряда нет никакого магнитного поля»¹⁹. Согласно этой точки зрения все магнитные явления проистекают из того факта, что согласно специальной теории относительности, из разных систем отсчета, движущихся с разными скоростями, окружающий мир представляется по-разному. В разной степени сокращаются длины окружающих предметов, с разной скоростью течет время и что особенно важно в нашем

¹⁸ Окунь Л.Б. Формула Эйнштейна: $E_0 = mc^2$. Не смеется ли Господь Бог? // УФН. – 2008, Т.178. - № 5. – С. 541.

¹⁹ Григорьев А.Н. О существовании магнитного поля - <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11737.html>

случае, из-за сокращения пространства в направлении движения, меняются плотности зарядов и конфигурации электрических полей. Именно это обстоятельство приводит к появлению магнитных сил. Само по себе изменение электрического поля не приводит к появлению какого-то особого "магнитного поля". Для объяснения сил действующих между двумя проводниками с током нет необходимости вводить еще одну сущность - "магнитное поле", все можно объяснить уже имеющимся электрическим полем и эффектами теории относительности.

Из того факта, что вокруг заряженного тела, поскольку оно находится в движении, возникает магнитное поле, а когда это тело покоится – никакого магнитного поля нет, можно сделать вывод о том, что магнитное поле – чисто кинематический, релятивистский эффект. Хотя и здесь существуют важные нюансы. Во-первых, если это релятивистский эффект, то магнитное поле будет наблюдать только внешний наблюдатель, например, покоящийся относительно Земли. В системе отсчета, связанной с самим зарядом магнитного поля быть не должно. С другой стороны, появление наблюдаемого и измеримого магнитного поля доказывает реальность и объективность этого поля, тем самым доказывая реальность и объективность относительных феноменов.

Вариация этого случая реализуется следующей ситуацией. Рассмотрим заряженное тело, покоящееся относительно Земли. Можно ли утверждать, что космонавт, пролетающий мимо Земли, или наблюдатель, находящийся на некоторой удаленной перемещающейся в пространстве планете, будет наблюдать магнитное поле вокруг такого проводника? С одной стороны, да, поскольку заряд относительно него движется. С другой стороны, этого не может быть, поскольку заряд покоится относительно Земли и вместе с ней участвует в одном и том же движении. Относительные, релятивистские эффекты должны касаться всего движущегося тела в целом: Земля и находящийся на ней покоящийся заряд представляют как раз такое тело.

3. *Эффект Унру*. Приведем еще один важный пример релятивистского эффекта. И хотя он не является непосредственно спецрелятивистским, а связан с ускоренным движением, т.е. к нему должно быть применено общерелятивистское рассмотрение, он показывает, что общерелятивистское обобщение СТО также дает интересные феномены, возникающие при относительном движении, которые следует рассматривать как реальные. Согласно этому эффекту, детектор (наблюдатель), движущийся равномерно ускоренно в плоском пространстве-времени, регистрирует частицы в вакууме. Другими словами, он начинает видеть вокруг себя равновесное тепловое излучение, в то время как наблюдатель в инерциальной системе отсчета не видит ничего. В другой формулировке эффект Унру означает, что риндлеровский (равномерно ускоренный) наблюдатель находится в термостате с температурой Фуллинг-Унру²⁰. В качестве следствия этого эффекта некоторые авторы предлагают далеко идущие выводы: «этот эффект позволяет в принципе определить абсолютное ускорение системы отсчета. Таким образом, опровергается принцип Маха в формулировке, утверждающей, что «имеет значение только ускорение относительно неподвижных звезд»»²¹.

Для нас же в данном случае важно, что эффект Унру утверждает, что при изменении состояния движения (переходе к равноускоренному движению) возникают объективно наблюдаемые физические объекты – фотоны и, возможно, другие частицы, которые не

²⁰ Белинский В.А., Карнаков Б.М., Нарожный Н.Б. Письма в ЖЭТФ. – Т. 65, Вып. 12. – 1997. – С. 861-866.

²¹ Парлапак Р. Эффект Унру. - http://susy.written.ru/2011/02/28/Unruh_effect.

наблюдает покоящийся наблюдатель. Мы будем это трактовать как еще одно доказательство существования кинематических онтологий.

Следует также отметить, что имеется определенная аргументация, свидетельствующая о том, что «Вопрос об ускоренном детекторе ... не имеет в настоящее время удовлетворительного решения»²².

4. Наконец, спецрелятивистские эффекты учитываются при расчетах движения спутников и в системах типа GPS и ГЛОНАС.

Кинематические онтологии. Еще несколько слов о кинематических онтологиях. В СТО все системы отсчета равноправны. Не существует абсолютной системы отсчета. Другими словами не существует такой системы отсчета, в которой существовало бы истинное время и движение. Но в разных системах отсчета один и тот же объект или процесс наблюдается по-разному. В то же время то, что наблюдает каждый наблюдатель из своей системы отсчета, реально существует именно так, как он его наблюдает. Другими словами, наблюдается разная феноменология одного и того же объекта и процесса. В каждой системе отсчета все истинно по отношению к данной системе отсчета. В каждой системе отсчета свое время и свои процессы. Но тогда можно говорить о том, что, по существу, имеет место разная онтология, поскольку под последней можно понимать различные формы сосуществования объектности.

Так какова же природа релятивистских эффектов? Она связана с относительностью проявлений мира в разных системах отсчета. По существу – с относительностью онтологий. Отличие от куайновской онтологической относительности состоит в том, что если у Куайна акцент был сделан на языковую природу такой относительности, то в рассматриваемом нами случае – на физическую относительность онтологий. Это означает, что в различных системах отсчета будут различаться формы существования физической объектности²³. В то же время в соответствии с галилеевской трактовкой все процессы и все явления будут одинаковы при инерциальном движении: мы не найдем никаких отличий. В этой связи возникает интересная проблематика относительно связи онтологии и феноменологии.

В примере с эффектом Доплера каждый наблюдатель видит свою феноменологию и она объективно существует, что может быть зафиксировано с помощью приборов. Но тогда феноменология и онтология становятся эквивалентными. Во-первых, это можно рассматривать в качестве нового принципа эквивалентности. Во-вторых, можно утверждать, что онтология становится относительной, а именно зависящей от системы отсчета (наблюдения). Последнее расширяет предложенную У.Куайном концепцию онтологической относительности и онтология становится не дважды, а трижды относительной.

Существенно, что СТО оказалась совместимой с квантовой механикой. Новым результатом в первой половине XX века стала релятивистская квантовая механика. Синтез осуществил П.Дирак в 1928 г., получив релятивистски-инвариантное уравнение движения для электрона. Это позволило осознать новый уровень физической реальности, на котором рождаются и уничтожаются квантовые частицы, существует антиматерия и т.д. Тем самым было расширено содержание релятивистских онтологий.

²² Белинский В.А., Карнаков Б.М., Нарожный Н.Б. Письма в ЖЭТФ. – Т. 65, Вып. 12. – 1997. – С. 861-866. (С.866)

²³ В современной трактовке онтологию понимают как учение о формах существования объектности.

Свет и СТО. Второй постулат СТО связан со специфическими свойствами света, а именно, с его скоростью. Можно дать три формулировки этого постулата.

1. Скорость света в пустоте постоянна в любой инерциальной системе отсчета.
2. Скорость света не зависит от скорости своего источника.
3. Скорость света - максимальная скорость в природе.

Каждая из этих формулировок концептуально интересна, однако мы не будем их здесь обсуждать. Нам важно, что свет (более широко – электромагнитное поле) играет фундаментальную роль в построении СТО. В этом разделе отметим некоторые чрезвычайно важные, на наш взгляд, моменты, связанные со светом в СТО.

Для фотона время остановлено. Нельзя описать относительное движение двух фотонов, двух лучей или двух волновых пакетов света. Нельзя этого сделать, в том числе, и с помощью преобразований Лоренца. Онтология этой фотонной реальности совершенно неясна. Т.е. совершенно непонятно как сосуществуют фотоны по отношению друг к другу безотносительно к брадионам и макроскопическим объектам, в том числе к приборам и наблюдателям.

Но фотон – реальный физический объект и относительно него определенным образом перемещаются другие фотоны. Следовательно, вполне разумно попытаться связать с ним как с реальным физическим объектом и наблюдателя и систему отсчета. Другое дело, что это необходимо сделать каким-то нетривиальным и неизвестным на сегодня способом. На наш взгляд, очевидно, что здесь нужна новая физика.

Согласно СТО в природе существует абсолютная скорость - скорость света. Т.е. она постулирует то, с чем сама успешно боролась. И действительно, СТО отвергла абсолютные пространство и время, абсолютность одновременности и временной длительности, размеров тел, существование привилегированных, фактически, абсолютных систем отсчета и т.д. Можно ли это рассматривать как недостаток этой теории? Нет, в любой фундаментальной теории существуют абсолютные величины. В любой теории абсолютные величины играют двоякую роль: с одной стороны, они задают фундаментальный содержательный базис соответствующих теорий, а с другой – являются границами этой теории. Но существуют ли в природе абсолютные величины? На наш взгляд, нет. Поэтому СТО как фундаментальную теорию, описывающую определенную область физической реальности, а именно, движения со скоростями близкими к скорости света²⁴, со временем должна будет, по-видимому, сменить новую фундаментальную теорию, в которой абсолютные величины СТО станут относительными.

В данном случае относительной должна стать скорость света. И некоторые идеи на этот счет уже выдвигаются²⁵.

1. Ни с пакетом световых волн, ни с лучом света, ни с фотоном²⁶ нельзя связать никакую систему отсчета. Но это очень странно, поскольку фотон – реальный физический объект и, следовательно, с ним как с реальным объектом было бы естественно связать систему отсчета. В частности, это было бы нужно для того, чтобы в соответствии с фундаментальным принципом «любые движения относительны», попытаться описать движение других фотонов. Если бы это было возможно, то в этой системе отсчета (связанной с самим фотоном) согласно первой формулировке второго

²⁴ На самом деле с любыми скоростями вплоть до скорости света. Но как новая фундаментальная теория, СТО предсказывает новые эффекты, которые значительны именно для околосветовых скоростей.

²⁵ Смолин Л. Неприятности с физикой: взлет теории струн, упадок науки и что за этим следует. - Penguin Book, London, 2007. – Перевод Артамонова Ю.А. - (http://zhurnal.lib.ru/a/artamonow_j_a/) - С.230-231.

²⁶ В данном случае под фотоном будем рассматривать свет как классическую частицу в доквантовый период.

постулата СТО фотон должен двигаться со скоростью 300 000 км/с. Т.е. фотон должен двигаться с такой скоростью относительно этой системы отсчета, т.е. относительно самого себя! Естественно, что это физически бессмысленно. Соответственно, с фотоном нельзя связать никакого наблюдателя. Тем не менее, в рамках мысленного эксперимента было бы любопытно узнать, каким видит мир наблюдатель, «сидящий верхом» на фотоне.

2. СТО не может описать относительное движение фотонов или двух световых пакетов. Но ведь фотоны и световые пакеты движутся в пространстве и времени относительно друг друга и мы это можем наблюдать. Кроме того, масса покоя фотона равна нулю, а время для него остановлено. Фотон нельзя описать и релятивистски, ведь согласно СТО и, прежде всего, преобразованиям Лоренца, для фотона все физические величины (размеры тел, временные интервалы, масса тел) равны нулю или бесконечности. На самом деле это означает, что на этом уровне заканчивается вся известная физика. Более строго – никакая известная физическая теория не может описать физических форм сосуществования фотонов. Фотон определяет СТО, но находится за пределами ее компетенции, т.е. ею не описывается. Можно предположить, что фотоны и электромагнитное поле, представляющее собой их совокупность (ансамбль), является особой реальностью, которая таит в себе много новых интересных свойств.

Со свойствами света связан еще один любопытный онтологический аспект, который касается времени, а точнее такой его характеристики как *прошлое*. Зададим банальный и, казалось бы, наивный вопрос: можно ли просто посмотреть и увидеть прошлое? Например, то, что было сотни или тысячи лет назад? Оказывается можно и довольно легко: для этого достаточно в ясную ночь взглянуть на небо. На нем мы увидим звезды, но не такими, какими они выглядят в данный момент времени, а такими, какими они были сотни, тысячи и миллионы лет назад. Все дело – в конечной скорости света, который идет до нас от звезд сотни и тысячи лет. Интересно, что некоторые очень удаленные звезды, которые, возможно, уже и не существуют, мы продолжаем видеть в течение долгого времени.

Но и это еще не все. Любые другие предметы и друг друга мы видим также *всегда только в прошлом*, поскольку между нами есть конечное расстояние, которое, прежде чем попасть к нам в глаз, свет проходит хоть и за очень малое, но конечное время. Обобщая, можно сказать, что *мы всегда видим мир в прошлом*. Это концептуально и мировоззренчески меняет наше представление о нашем существовании, хотя в связи с малостью временных промежутков в обыденном плане естественным образом игнорируется. Тот факт, что мир всегда нам дан только в прошлом, существенно уточняет и наше с ним соотношение, а вместе с нетривиальными свойствами времени и связанными с ним апориями, с новой актуальностью поднимает онтологические проблемы нашей экзистенции.

Литература

- Баженов Л.Б. Проблема пространства-времени // Философия науки / Под ред. А.И. Липкина. М.: ЭКСМО, 2007. 340 с.
- Белинский В.А., Карнаков Б.М., Мур В.Д., Нарожный Н.Б. Письма в ЖЭТФ. 1997. Т. 65, № 12. С. 861-866.
- Визгин В.П. Единые теории поля в первой трети XX века. М.: Наука, 1985, 303 с.
- Григорьев А.Н. О существовании магнитного поля // Научно-техническая библиотека SciTecLibrary. URL: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11737.html> (дата обращения: 01.06.2015).
- Грин Б. Элегантная Вселенная. М.: УРСС, 2005. 286 с.
- Киржниц Д.А., Сазонов В.Н. Сверхсветовые движения и специальная теория относительности // Эйнштейновский сборник. 1973. М.: Наука, 1974, С. 84-111.
- Минковский Г. Пространство и время // Принцип относительности. Сборник работ по специальной теории. М.: Атомиздат, 1973. С. 167-180.
- Окунь Л.Б. Формула Эйнштейна: $E_0 = mc^2$. Не смеется ли Господь Бог? // Успехи физических наук. 2008. Т. 178. № 5. С. 541-555.
- Парлапак Р. Эффект Унру // Заметки о теоретической физике URL: http://susy.written.ru/2011/02/28/Unruh_effect. (дата обращения: 01.06.2015).
- Пространство-время // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE-%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BC%D1%8F> (дата обращения: 01.06.2015).
- Рылов Ю.А. Принцип деформации как основа физической геометрии и его применение к геометрии пространства-времени // Гиперкомплексные числа в геометрии и физике. 2004. № 2. С. 69-96.
- Тай де ля Р. Релятивизм Пуанкаре предшествовал эйнштейновскому // EqWorld. Мир Математических уравнений. URL: http://eqworld.ipmnet.ru/ru/education/scientists/poincare_einstein.htm (дата обращения: 01.06.2015).
- Терлецкий Я.П. Парадоксы теории относительности. М.: Наука, 1966. 118 с.
- Угаров В.А. Специальная теория относительности. М.: Наука, 1977, 383 с.
- Эддингтон А. Относительность и кванты. М.: УРСС, 2004. 147 с.
- van Beveren E., Coito S., Rupp G. On the existence of a superlight scalar boson // Cornell University Library. URL: <https://arxiv.org/abs/1411.4151v1> (дата обращения: 01.06.2015).

References

- Bazhenov, L.B. "Problema prostranstva-vremeni" [The Problem of the Spacetime], *Filosofiya nauki* [The Philosophy of Science], ed. by A.I. Lipkina. Moscow: EKSMO Publ., 2007. 340 pp. (In Russian)
- Belinskiy, V.A., Karnakov, B.M., Mur, V.D., Narozhnyiy, N.B. "Pisma v ZhETF" [Letters to JETP], 1997, Vol. 65, No. 12. pp. 861-866. (In Russian)
- Eddington, A. *Otnositel'nost' i kvanty* [The Relativity and Quantum]. Moscow: URSS Publ., 2004. 147 pp. (In Russian)
- Greene, B. "Elegantnaya Vselennaya" [The Elegant Universe]. Moscow: URSS Publ., 2005. 286 pp. (In Russian)
- Grigorev, A.N. "O sushchestvovanii magnitnogo polya" [On the Existence of the Magnet Field], *Nauchno-tehnicheskaya biblioteka SciTecLibrary* [http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11737.html, accessed on 01.06.2015].
- Kirzhnits, D.A., Sazonov, V.N. "Sverkhsvetovye dvizheniya i spetsial'naya teoriya otnositel'nosti" [The Superluminal Motions and Special Relativity Theory], *Einshteynovskii sbornik. 1973* [The Einstein's Collection 1973]. Moscow: Nauka Publ., 1974, pp. 84-111. (In Russian)

Minkovskiy, G. "Prostranstvo i vremya" [Space and Time], *Printsip otnositel'nosti. Sbornik rabot po spetsial'noi teorii* [Principle of Relativity. A collection of papers on the special theory]. Moscow: Atomizdat Publ., 1973. pp. 167-180. (In Russian)

Okun', L.B. "Formula Einshteina: $E=mc^2$. Ne smeetsya li Gospod' Bog?" [The Eisenstein's Formula: $E=mc^2$. Are the Lord God kidding?], *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 2008, Vol. 178, No. 5, pp. 541-555. (In Russian)

Parlapak, R. "Effekt Unru" [The Unruh effect], *Zametki o teoreticheskoi fizike* [http://susy.written.ru/2011/02/28/Unruh_effect, accessed on: 01.06.2015]. (In Russian)

Prostranstvo-vremya [Spacetime], *Wikipedia* [<https://ru.wikipedia.org/wiki/Prostranstvo-vremya>, accessed on 01.06.2015]. (In Russian)

Rylov, Yu.A. "Printsip deformatsii kak osnova fizicheskoi geometrii i ego primenenie k geometrii prostranstva-vremeni" [The Principle of the Deformation as the Foundation for the Physical Geometry], *Giperkompleksnye chisla v geometrii i fizike*, 2004, No. 2, pp. 69-96. (In Russian)

Taille, de la R. "Relyativizm Puankare predshestvoval einshteinovskomu" [Poincaré's Relativism Preceded Einstein's], *EqWord. Mir Matematicheskikh uravnenii* [http://eqworld.ipmnet.ru/ru/education/scientists/poincare_einstein.htm, accessed on 01.06.2015]. (In Russian)

Terletskii, Ya.P. *Paradoksy teorii otnositel'nosti* [The Paradoxes of the Relativity Theory]. Moscow: Nauka Publ., 1966. 118 pp. (In Russian)

Ugarov, V.A. *Spetsial'naya teoriya otnositel'nosti* [The Special Relativity Theory]. Moscow: Nauka Publ., 1977, 383 pp. (In Russian)

van Beveren, E., Coito, S., Rupp, G. "On the existence of a superlight scalar boson", *Cornell University Library* [<https://arxiv.org/abs/1411.4151v1>, accessed on 01.06.2015].

Vizgin, V.P. *Edinye teorii polya v pervoi treti XX veka* [Unified Field Theories in the First Third of XX Century]. Moscow: Nauka Publ., 1985, 303 pp. (In Russian)

Special relativity ontologies

Erekaev V.D.

Abstract: The paper is concerned with the problem of the principle of relativity of ontology. The research is conducted on the basis of the methodological analysis of the principles and conclusions of the theory of relativity. The author comes to the conclusion that phenomenology and ontology are equivalent, which extends the idea of ontological relativity suggested by W. Quine.

Keywords: Ontology, theory of relativity, space-time, objectivity, phenomenology