
Пространство-время в современной научной картине мира

© 2019 г. Л.А. Минасян^{1*}, В.А. Бейлин^{2**}, О.А. Лещева^{3***}

^{1,3} *Донской государственный технический университет, 344000, Ростов-на-Дону, п.л. Гагарина, д. 1.*

² *Южный федеральный университет, 344006, Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105.*

* E-mail: larmin1@mail.ru

** E-mail: vitybeylin@gmail.com

*** E-mail: olga_1_78@mail.ru

Поступила 1.02.2018

В статье рассматриваются основные достижения современной физики в направлении развертывания исследований по созданию единой теории поля и геометродинамики. Исследуются этапы создания Эйнштейном и его сподвижниками основ общей теории относительности, нововведениями в которой стали локальная лоренц-инвариантность, калибровочный принцип, принцип общей ковариантности, определяющие теоретическую обоснованность представлений о гравитационном поле как о проявлении кривизны пространства и приведшие к предсказанию существования гравитационных волн. Показано, что общая теория относительности формулируется в терминах взаимозависимых и взаимоопределяющих философских понятий и физических характеристик пространства, времени и материи. Философская проблематика обостряется тем обстоятельством, что в рамках геометродинамики физические явления материального мира трактуются как проявления внутренней динамики, неотъемлемо присущей «пустому» искривленному пространству, как бы без материи. При этом геометродинамика в современной фундаментальной физике имеет статус одной из наиболее разработанных концепций. В данной работе авторы анализируют общепринятый тезис о пространстве и времени как формах существования материи в категориальном поле опорных понятий: материя, форма, сущность, содержание и приходят к выводу, что в физической теории имеет место методологический прорыв в сторону диалектического смыслового наполнения этих категорий, концептуально совпадающего с философским учением Гегеля.

Ключевые слова: философия физики, пространство-время, материя, теория относительности, геометродинамика, квантовая гравитация, сущность, содержание, форма, Эйнштейн, Гегель.

DOI: 10.31857/S004287440006324-1

Цитирование: Минасян Л.А., Бейлин В.А., Лещева О.А. Пространство-время в современной научной картине мира // Вопросы философии. 2019. № 9. С. 118–129.

Space-Time in the Modern Scientific Picture of the World (to the 100th Anniversary of the Gravitational Waves Prediction)

© 2019 г. Larisa A. Minasyan^{1*}, Vitali A. Beylin^{2**}, Olga A. Leshcheva^{3***}

^{1,3} Don State Technical University, 1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000,
Russian Federation.

² South Federal University, 105, Bolshaya Sadovaya st., Rostov-on-Don, 344006,
Russian Federation.

* E-mail: larmin1@mail.ru

** E-mail: vitbeylin@gmail.com

*** E-mail: olga_1_78@mail.ru

Received 1.02.2018

The main achievements of modern physics in the development of the foundations and principles of a unified field theory and geometrodynamics are considered in the article. The stages of the creation by Einstein and his associates and co-authors of the foundations of the general theory of relativity are considered. The innovations in the theory are local Lorentz invariance, the gauge principle and the principle of general covariance, which determine the theoretical validity of the notion of the gravitational field as a manifestation of the space-time curvature. These ideas have led to the prediction of the gravitational waves existence. It is shown that the general theory of relativity is formulated in terms of interdependent and mutually determining philosophical concepts and physical characteristics of space, time and matter. Within the framework of geometrodynamics, philosophical problems are aggravated by the fact that the physical world's phenomena are interpreted as manifestations of internal dynamics inherent in the "empty" curved space, as if without matter. At the same time, in modern fundamental physics the geometrodynamics has the status of one of the most developed concepts. In this paper, the authors analyze the commonly accepted thesis about space and time as forms of the matter existence in the categorical field of basic concepts: matter, form, essence and content. The conclusion of the paper is that in the physical theory there is a methodological breakthrough towards the dialectical semantic filling of these categories, conceptually coinciding with the philosophical doctrine of Hegel.

Key words: philosophy of physics, space-time, matter, theory of relativity, geometrodynamics, quantum gravity, essence, content, form, Einstein, Hegel

DOI: 10.31857/S004287440006324-1

Citation: Minasyan, Larisa A., Beylin, Vitali A., Leshcheva, Olga A, (2019) "Space-Time in the Modern Scientific Picture of the World (to the 100th Anniversary of the Gravitational Waves Prediction)", *Voprosy Filosofii*, Vol. 9 (2019), pp. 118–129.

Пространство и время являются универсальными феноменами, определяющими человеческое существование. В то же время эти фундаментальные понятия как в философии, так и в естествознании остаются онтологически недоопределенными. Вошедшее практически во все энциклопедии и словари определение (исток которого в наиболее явной форме наличествует в философии Гегеля), что пространство и время являются формами существования материи, воспринимается как устоявшееся положение, как бы и не требующее дополнительной философской рефлексии. Между тем

движение исследований в физике, особенно развитие геометродинамики и теории суперструн, вновь заставляет обращаться к философско-методологическому осмыслению понятий пространства-времени в соотношении с материальным миром и текстурой реальности, в том числе в русле философской экспликации диалектики содержания и формы в подтверждении или же опровержении статуса пространства и времени как форм существования материи. И хотя, говоря о внутренней форме, Гегель заявляет, что нельзя даже спрашивать, каким образом форма присоединяется к сущности, именно это «присоединение» и есть проблема номер один в современной теоретической физике.

XX век ознаменовался новыми представлениями о пространстве-времени благодаря созданию специальной и общей теории относительности (ОТО). По прошествии более 100 лет ученые получили блестящее подтверждение существования гравитационных волн, предсказанного Эйнштейном в рамках ОТО. Однако и этот грандиозный результат, хотя и закрепляет статус ОТО, но лишь косвенно касается обозначенной выше проблемы. Действие разворачивается в теории суперсимметрии в попытках объединения в ее рамках квантовой теории и общей теории относительности. Вот тут-то и возникает вопрос: каким же образом форма присоединяется к сущности? Или, может, правильнее было бы сказать: каким образом форма материализуется? Философское обсуждение в настоящей статье предваряется кратким очерком сложившегося состояния дел в современной теоретической физике. В центре обсуждения — теория суперсимметрии. Существуют другие физические модели, претендующие на построение единой теории всех физических взаимодействий, но обозначенная в статье философская проблема наиболее четко прочерчивается именно в теории суперсимметрии с реализуемой в ней концепцией суперструн.

Открытие гравитационных волн — закономерный результат огромной работы ученых в области гравитационно-волновой астрономии. 2017 год ознаменован вручением Райнеру Вайссу, Барри Баришу и Кипу Торну Нобелевской премии по физике за выдающееся научное достижение — экспериментальное обнаружение гравитационных волн.

Однако влияет ли этот важный с точки зрения физической науки результат на философское осмысление роли пространства-времени в формировании внутренней структуры нашего мира? Строго говоря, весомые, хотя и косвенные, свидетельства в пользу существования гравитационного излучения были получены уже при наблюдении массивных двойных систем, содержащих компактные гравитирующие объекты (такие как нейтронные звезды или черные дыры). Все современные теории гравитации, идеей близкие ОТО, предсказывают существование гравитационных волн, описывают процессы, происходящие при слиянии двух астрофизических черных дыр, практически одинаково. Так что достигнутый результат был вполне ожидаемым. Однако теперь получено явное доказательство распространения деформации самого пространства-времени в виде волны, что проявляется в периодическом изменении расстояния между двумя свободно падающими пробными массами, определена амплитуда гравитационной волны (относительное смещение), дающая в максимуме ожидаемо малую величину около 10^{-21} .

С точки зрения физики представления о деформации пространства-времени не вызывают вопросов, поскольку гравитация означает метрическую упругость, противодействующую искривлению пространства-времени. Точнее, уравнения ОТО устанавливают связь между локальной кривизной пространства-времени и источниками искривления — локальными негравитационными физическими полями. Эти поля или в квантованной форме все многообразие элементарных частиц в физической литературе принято обозначать термином «материя». Таким образом, на подсознательном уровне закрепляется представление о некотором противопоставлении (но при этом и взаимообусловленности) материи и пространства-времени. Противопоставление это в теоретическом дискурсе достигает своего апофеоза в вопросе о первичности или вторичности пространства-времени по отношению к материи. В явной форме это высказано Эйнштейном в речи, произнесенной в Ноттингеме 7 июня 1930 г.: «Мы приходим к странному выводу: сейчас нам начинает казаться, что первичную роль играет пространство; материя же должна быть получена из пространства, так сказать на следующем этапе.

Пространство поглощает материю. Мы всегда рассматривали материю первичной, а пространство вторичным. Пространство, образно говоря, берет сейчас реванш и «съедает» материю» [Эйнштейн 1966^а, 243].

Правомерно ли сведение гравитационного поля именно и только к кривизне пространства-времени, имеет ли пространство-время статус формы существования материи, возможно и допустимо ли вывести физику материи из пустого пространства — эти вопросы нередко и достаточно остро обсуждались отечественными учеными в 60–80-е гг. прошлого столетия на многочисленных научных конференциях, посвященных философским проблемам естествознания. В настоящее время физическая наука развивается как будто сама по себе, не часто апеллируя к каким-либо философским системам, хотя статус пространства-времени — это и сегодня актуальная тема для теоретической физики. Особенно с учетом достижений геометродинамики и теории суперструн, о чем подробнее будет сказано ниже. Можно заметить, что вопрос о взаимоотношении содержания и внутренней формы этого содержания в философском ракурсе аккуратно обходится, однако подстрочно присутствует во всех обсуждаемых физических теориях и моделях. Именно потому обращение к философской сути этой проблематики представляется чрезвычайно важным. Но прежде мы кратко обрисует путь, который был пройден Эйнштейном и его сподвижниками с 1905 г. по 1917 г., от создания специальной теории относительности (СТО) до вывода уравнений ОТО, опирающихся на новое понимание природы гравитационного поля.

Эйнштейн не был удовлетворен постулатами СТО, сформулированными только для инерциальных систем отсчета. Новая кинематика пространства-времени в СТО требовала признания объективно целостного 4-мерного континуума, имеющего 1-мерное временное и 3-мерное пространственное сечения. 4-мерная структура мира представляется необходимой для записи законов природы в форме, инвариантной (симметричной) относительно преобразований Лоренца, переводящих наблюдателя из одной инерциальной системы в другую. Преобразования Лоренца имеют смысл вращений в 4-мерном пространстве-времени, оставляющих инвариантным пространственно-временной интервал (ds). Иными словами, в специальной теории относительности имеет место *глобальная лоренц-инвариантность*. основополагающей концепцией построения физических моделей и теорий становится *принцип симметрии*, если, как это отмечено Эйнштейном, «желают выразить содержание объективных отношений без ненужного произвола» [Эйнштейн 1966^б, 753]. Но как избежать «ненужного произвола» в случае неинерциальных систем отсчета?

Ключевой идеей, позволяющей распространить принцип относительности (инвариантности) на неинерциальные системы отсчета, становится *принцип эквивалентности*. Опираясь на экспериментально обоснованный факт *равенства гравитационной и инертной массы*, вследствие чего движение в однородном гравитационном поле неотличимо от движения в равноускоренной системе отсчета, неинерциальные системы отсчета можно представить как инерциальные, но с дополнительными гравитационными полями. Вместе с тем принцип эквивалентности потребовал перехода от глобальной к *локальной лоренц-инвариантности*, что явилось существенно новым элементом в общей теории относительности. Связано это с необходимостью различения гравитационных полей, эквивалентных ускоренному движению, от истинных гравитационных полей, которые невозможно исключить при переходе от неинерциальных систем отсчета к инерциальным. Компенсация истинного гравитационного поля возможна только в бесконечно малой окрестности рассматриваемой точки. Динамическим нововведением ОТО становится *калибровочный принцип*, суть которого заключается в том, что требование локальной инвариантности обеспечивается лишь введением дополнительных полей. В настоящее время принимается, что все известные физические взаимодействия имеют калибровочную природу, будучи локально-инвариантными относительно динамических групп симметрии.

Требование равноценности всех систем пространственно-временных координат приводит Эйнштейна к наделению практическим статусом геометрию инвариантов, разработанную выдающимися математиками XIX в. — Гауссом, Риманом, Кристоффелем и их

последователями. Принцип эквивалентности позволяет рассматривать гравитационное поле в качестве состояния пространственно-временного континуума, определяющего некоторую неинерциальную систему отсчета, которая, однако, локально эквивалентна инерциальной системе, динамически учитывающей это видоизменение континуума. Если пространство подвергается произвольному непрерывному преобразованию, то величина ds в новой системе координат должна быть выражена в тензорном виде следующим образом: $ds^2 = g_{ik} dx_i dx_k$ (1), где выполняется суммирование по 4 индексам i и k . Компоненты тензора g_{ik} должны быть функциями такого рода, чтобы форма (1) могла быть переведена в форму для инерциальных систем отсчета $ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2$ (2) непрерывным преобразованием четырех координат. Для этого функции g_{ik} должны удовлетворять определенным соотношениям, введенным Риманом, и тогда, в соответствии с принципом эквивалентности, соотношение (1) описывает в общековариантной форме гравитационное поле [Эйнштейн 1966⁶, 756–757]. Записывая мировой 4-мерный интервал в тензорном виде, находим, что уравнения в тензорной форме не выделяют какую-либо систему координат.

Иными словами, требование инвариантности мирового интервала ds становится основой для выдвижения принципа *общей ковариантности*. Тензор g_{ik} называется метрическим тензором, определяющим интервалы между мировыми точками в 4-мерном пространстве-времени. Эйнштейн в своих работах подчеркивает, что в общей теории относительности понятие пространства-времени так же, как и в классической физике, соответствует свойствам твердых тел (малых стержней) и часов. Однако с учетом экспериментального подтверждения независимости скорости света от скорости источников и приемников света, т.е. факта постоянства скорости света, определившего всю патетику новых представлений о пространстве-времени в СТО, нельзя принять в качестве основы теории *неизменность* длин единичных стержней и *синхронность* часов в различных точках пространства-времени (т.е. в различных системах отсчета). Законы физики инвариантны лишь относительно локальных калибровочных преобразований, иными словами, имеется произвол в выборе масштаба при переходе от одной точки пространства-времени к другой, что означает кривизну траектории. Локальная инвариантность требует введения гравитационного поля, роль которого состоит в компенсации эффектов, вызванных калибровкой при переходе от точки к точке. Компоненты g_{ik} и определяют изменение метрики пространства-времени при таком переходе. Добавочные слагаемые (связность или символы Кристоффеля) в ковариантной записи закона локального преобразования учитывают изменение компонент вектора при параллельном переносе, так что появляются возможность изменения масштаба, эксплицирующего искривление пространства-времени.

Итак, представления о кривизне пространства-времени – не досужий вымысел, не вольная интерпретация математических выкладок, а отражение в математической форме реальной структуры пространства-времени. Метрический тензор описывает гравитационное поле, в то же время его компоненты определяют изменения метрики пространства-времени. Именно по этой причине гравитационное поле было противопоставлено иным полям: гравитационное поле – мера искривленности четырехмерного пространственно-временного многообразия, источники гравитационного поля – негравитационные физические поля. Уравнения ОТО, по общепринятой терминологии, устанавливают связь между кривизной пространства-времени и «материей» в окрестности одной и той же точки.

Идеология ОТО основана на целостном унифицированном описании физической реальности. Здесь реализуется задача распространения принципа относительности на все без исключения системы отсчета. Тенденция к унификации приводит Эйнштейна к попыткам создания единой теории поля, объединяющей гравитацию с электромагнитным полем (к тому времени физикам были известны только электромагнетизм и тяготение). Такая возможность открывалась благодаря выявлению калибровочной природы электромагнитного поля и приложением к физике эрлангенского геометрического подхода.

В 1872 г. немецким математиком Феликсом Клейном была предложена «Эрлангенская программа», в которой все многообразие геометрических систем и объектов

классифицировалось по наборам и свойствам инвариантов групп преобразований симметрии этих объектов. Теория относительности реализует именно этот подход. Эта идеология была использована Г. Вейлем, который попытался «геометризовать» электромагнетизм, выводя электромагнитное поле из инвариантности пространства по отношению к произвольным расширениям и сжатиям в рамках обобщения 4-мерной римановой геометрии. Попытка оказалась неудачной, но впоследствии калибровочная природа электромагнетизма была все же установлена. Основным элементом стал переход Вейля от изучения группы преобразований пространства, постулирующей принцип масштабной инвариантности, к локальным фазовым преобразованиям волновых функций. Тем самым в теорию была внесена идея расслоенных пространств.

Еще один важный шаг был сделан Т. Калуца и О. Клейном, расширивших пространственно-временную геометрию до 5 измерения, которое компактифицируется до малых размеров — 10^{-32} см, так что не воспринимается как измерение изучающим мир субъектом, но проявляется в качестве электромагнитного поля со своей группой симметрии. Так, в сочетании идей была открыта дорога для разработки и использования теории *мно-гомерного* пространственно-временного континуума как инструмента для решений конкретных физических задач и поставлен вопрос о возможности сведения всех внутренних симметрий к геометрическим, пространственно-временным симметриям.

Новый этап в теоретической физике начинается с 1954 г., когда в работах Янга и Миллса было предложено использовать локальную калибровочную симметрию для описания динамики сильных взаимодействий. С этого момента концепция геометризации физики приобретает все более осязаемые очертания и становится генеральной линией построения единой теории поля. Прежде всего, осознается калибровочная природа всех известных физических взаимодействий — гравитационного, электромагнитного, сильного и слабого и их объединений. Математическая разработка калибровочных симметрий позволяет свести действие полей к расслоениям пространства. Слой понимается как множество преобразований внутренних симметрий частиц, взаимодействующих посредством калибровочных полей. В свою очередь квантовые калибровочные поля интерпретируются как связности в расслоениях над пространством и временем. Калибровочная природа внутренних симметрий становится основанием для придания им геометрической интерпретации.

Еще до открытия ряда внутренних симметрий, с начала 60-х гг. прошлого века Дж. Уилер занимался построением теории, основанной на 4-мерной геометрии пустого пространства-времени — это был начальный этап развития геометродинамики. В настоящее время наиболее продвинутой программой в достижении геометрической унификации частиц (фермионов и бозонов) и взаимодействий является теория суперсимметрии, предложенная в 1973 г. Ю. Вессом и Б. Зумино. Пространство в этой теории расширяется до суперпространства, в котором действует группа симметрии, обеспечивая взаимопревращения фермионных и бозонных полей. В работах Ю.А. Гольфанда и Е.П. Лихтмана установлено также, что локальная суперсимметрия относительно группы Пуанкаре приводит к ОТО. Тем самым нащупывалась реальная возможность подойти к *квантовой* теории гравитации и объединить все четыре типа взаимодействий, включая гравитационное, в единое суперполе.

С 70-х гг. прошлого века в физике было достигнуто удовлетворительное квантово-полевое описание трех из четырех взаимодействий (электромагнитного, слабого и сильного), создан фундамент для описания процессов с участием этих типов взаимодействий — стандартная модель электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий кварков и лептонов (СМ), разработаны версии Великого объединения, сводящие при высоких энергиях в одну константу интенсивности сильного и электрослабого взаимодействий. Остро встала задача перехода от классического описания общей теории относительности с ее искривленным пространством-временем, характеризуемым «гладкостью» геометрии на больших масштабах, к квантовомеханическому описанию в микроскопических масштабах, где согласно принципу неопределенности царит безумный хаос флуктуаций «квантовой пены», с которым уравнения общей теории относительности не могут справиться [Грин 2004, 93]. Идея объединения всех

типов взаимодействий в единое суперполе с учетом согласованности ее с экспериментальными данными, как оказалось, может быть реализована лишь в геометрии *многомерного пространства-времени*.

Концепция Калуца–Клейна послужила исходной точкой для развития идей многомерия в различных направлениях: увеличивается число измерений пространства-времени, в котором определяется динамика первичных материальных объектов (теория струн, браны), анализируются локальные элементы самого пространства-времени (петлевая квантовая гравитация), устанавливаются геометрические связи между пространствами и алгебрами функций (некоммутативная геометрия). Эти темы, однако, находятся за пределами данной работы, поскольку существенным для предпринятого здесь философского обсуждения является сама постановка вопроса о многомерии пространства-времени и его внешней «скрываемости». Добавим лишь, что последовательная реализация идей Калуца–Клейна приводит к представлению о суперструнах.

Теория многомерных суперструн является обобщением теории суперсимметрии, принимающей суперструну в качестве физической модели исходной сущности, альтернативной общепринятому представлению о бесструктурной точечной частице. Струна имеет пространственную протяженность, что позволяет наделять ее такими свойствами, как многомерность, наличие большого (даже бесконечного) числа степеней свободы, соответствующих возбужденным состояниям (колебаниям струны). Среди ученых возникла уверенность в том, что несовместимость общей теории относительности и квантовой механики на ультрамикроскопическом уровне устраняется благодаря существованию нижнего предела расстояний – планковского масштаба длины суперструны. Теория суперструн требует для своей реализации многомерия, а именно десятки пространственных измерений и одного временного (М-теория) или одиннадцати пространственных измерений и одного временного (F-теория). При этом только три пространственных измерения расширились, дополнительные пространственные измерения компактифицированы, свернуты. Модель устанавливает единственный возможный вариант этой компактификации в соответствии с подходящим многообразием Калаби–Яу, представляющим собой 3-мерный слой над каждой точкой 4-мерного пространства-времени. Впрочем, проблема ландшафта в теории струн, т.е. выбора из огромного спектра возможных вариантов одного многообразия Калаби–Яу, соответствующего реальному набору частиц и их взаимодействий, пока не решена.

Математическая структура теории суперструн определяется двумя параметрами: натяжением, определяющим спектр масс возбуждений струны и их способностью к универсальному гравитационному взаимодействию, и калибровочной константой негравитационных взаимодействий между возбуждениями струны. Массы и заряды частиц соответствуют различным модам резонансных колебаний, на которые оказывают прямое влияние свернутые пространственные измерения, ограничивая спектр возможных масс и зарядов частиц, наблюдаемых в 3-мерном пространстве. Важный результат теории струн состоит в том, что она содержит, наряду с дополнительными степенями свободы, все частицы и взаимодействия СМ, существование и свойства которых экспериментально подтверждены.

После сжатого изложения основных направлений исследований в фундаментальной физике, демонстрирующего наличие ярких неординарных подходов для создания унифицированной, математически строгой теории, трактующей многообразие физических явлений как следствие внутренних движений единого суперполя, перейдем к философскому обсуждению проявленных в связи с этим проблем.

Дж. Уилер утверждал, что предвидение и мечта Эйнштейна состояли в том, чтобы найти «объяснение всех явлений физического мира, как проявлений пустого искривленного пространства» [Уилер 1970, 20]. Однако с этим выводом можно поспорить. Действительно, как было сказано выше, в 1930 г. в публичной речи Эйнштейн высказал такую точку зрения. В то же время, в ряде статей, например, [Эйнштейн 1966^a], [Эйнштейн 1966^b] [Эйнштейн 1966^c] нет даже отдаленного намека на подход, названный впоследствии геометродинамикой, на что справедливо указывает автор работы [Lehmkuhl web]. В Приложении V, добавленном самим Эйнштейном к переизданию его книги «О специальной и общей теории относительности» (1952 г.),

имеется комментарий о том, что пространству и времени нельзя с необходимостью приписать раздельное существование и что на этом пути концепция «пустого пространства» теряет свой смысл [Эйнштейн 1966⁶, 744]. Более того, Эйнштейн не раз подчеркивает свое предпочтение Декарту, в противоположность Ньютону в его отождествлении пространства с протяженностью, отмечая, что даже специальная теория относительности не рассеяла бы «беспокойства Декарта, связанного с независимым или, быть может, *априорно* существующим «пустым пространством» [Эйнштейн 1966⁶, 745], и что сомнения эти преодолеваются общей теорией относительности.

В представлении физических идей на страницах данной статьи отсутствовало важное звено, имеющее прямое отношение к проблеме (как с физической точки зрения, так и с философской) и получившей достаточно надежное экспериментальное подтверждение уже в наши дни. Для обсуждения его вернемся к уравнениям ОТО. Уравнения ОТО связывают тензор Эйнштейна, характеризующий кривизну пространства-времени, и тензор энергии-импульса, являющегося локальной характеристикой «материи». В случае так называемого «пустого пространства» естественно было бы предположить, что тензор энергии-импульса должен быть приравнен нулю, так как «материя» отсутствует. Но, как заметил Я.Б. Зельдович, в релятивистской теории плотность энергии этой «пустоты» — вакуума — должна быть одинаковой для любого наблюдателя, т.е. в самом общем случае следует говорить о *вакууме* не как о среде с нулевым тензором энергии-импульса, а как о релятивистски инвариантной среде с не зависящим от системы отсчета тензором энергии-импульса [Зельдович 1981, 479]. Иными словами, с релятивистски инвариантной средой невозможно связать никакую систему отсчета, в которой отсутствовала бы «материя» в какой-либо форме. Поэтому с конца прошлого века внимание физиков-теоретиков сфокусировалось на представлении о вакууме, обладающем универсальной способностью к гравитационному отталкиванию, что отличает его от всех других агентов материального мира.

Начало XXI в. ознаменовалось открытием в космологических экспериментах Темной энергии, которая сейчас идентифицируется с этим «энергодоминантно нарушенным» вакуумом. В настоящее время имеются экспериментальные подтверждения существования трех вакуумных подсистем — дираковский вакуум квантовых нулевых колебаний полей, кварк-глюонный хромодинамический вакуумный конденсат и хиггсовский вакуумный конденсат. Кварк-глюонный конденсат, как сейчас предполагается, связан с квантово-топологическими явлениями в микромасштабах пространства-времени, хиггсовский конденсат — с деформацией слоистой структуры электрослабого поля (впрочем, его структура также может оказаться квантово-топологической). Продолжаются поиски геометродинамического наполнения всех известных в настоящее время вакуумных подсистем как проявлений единой универсальной вакуумной структуры. Вакуум рассматривается как исходное состояние нашей Вселенной, как прародитель всего многообразия физического мира. Идеология единой теории поля базируется на представлении о ненарушенности калибровочной симметрии нашего мира (важно определить группу этой симметрии), на совпадении симметрии вакуума с симметрией нашего мира и на принципе спонтанного нарушения симметрии вакуума, т.е. реализации одного из несимметричных решений, состоящей в перестройке вакуума в точках релятивистских фазовых переходов в ходе эволюции Вселенной, что и ведет к проявлению различий между типами частиц и взаимодействий. После экспериментального подтверждения теории электрослабого взаимодействия идея спонтанного нарушения вакуума вошла в качестве определяющего элемента в создаваемую единую теорию поля. Важно подчеркнуть, что компактификация и топология дополнительных пространственных измерений в теории суперструн имеют непосредственное отношение к механизмам спонтанного нарушения локальных суперкалибровочных и ряда глобальных симметрий.

Красота и изящество теории суперструн рождает представление о том, что все вещество и все взаимодействия порождаются колеблющейся струной, и как выразился Б. Грин, «мы должны позволить теории струн *создавать* ее собственную пространственно-временную арену, начиная с конфигурации, в которой пространство и время

отсутствуют» [Грин 2004, 244]. Как интерпретировать этот итоговый вывод Б. Грина? Означает ли это, что суперструна как геометрический объект определяет себя в качестве генератора суперпространства с искривленной и расслоенной геометрией? Альтернативным считается подход, согласно которому суперструна помещается в суперпространство с уже заданной геометрией, но каков принцип выбора именно такого типа геометрии остается невыясненным. Первая точка зрения кажется нам более привлекательной, но недостаточно критически апробированной, поскольку здесь не ставится акцент на таком, возможно, определяющем моменте как то, что топология и метрика компактных «внутренних пространств» определяются состоянием вакуума. Так что теории струн, как справедливо отметил Д. Гросс, еще «нужно понять механизм нарушения симметрии. Также нужно понять механизм замыкания на себя или компактификации ненаблюдаемых измерений. Наконец, нужно объяснить энергию вакуума» [Гросс 2006]. С учетом этих задач возникает вопрос о статусе вакуума и пространства-времени и их взаимообусловленности. Или все же почти ставшее клише выражение «пространство и время – формы существования материи» еще имеет методологическую ценность? Обратимся к смыслу этого тезиса с позиции диалектики категорий содержания и формы.

Гегель более чем за два столетия до нашего обсуждения писал: «Всеобщее в физике абстрактно или, иначе говоря, формально; это всеобщее имеет свое определение не в самом себе и не переходит к *особенности* (выделено нами); во-вторых, вследствие этого особенное содержание находится в физике вне всеобщего и, следовательно, раздроблено, расщеплено, разрознено, разбросано, не имеет в самом себе необходимой связи» [Гегель 1975, 21]. В сравнительно недавней истории Р. Фейнман в 1965 г. констатировал практически то же методологическое несовершенство: «Сегодня наши физические законы, законы физики - множество разрозненных частей и обрывков, плохо сочетающихся друг с другом. Физика еще не превратилась в единую конструкцию, где каждая часть – на своем месте» [Фейнман 1968, 31]. По прошествии каких-нибудь 15 лет после высказывания Фейнмана физическая наука вступила в поистине золотую эру, обозначенную многими прорывами и успехами именно в поисках всеобщего, которое в своем самодвижении в качестве субстанционального целого порождает акцидентальные моменты всего многообразия физического мира. Говоря гегелевским языком, речь идет об исходной абстракции в построении теории, выявлении конкретно-всеобщего в структуре мира, имеющего «определение в самом себе, определяющего особенное, содержась в нем в качестве основы». Понятно, что речь идет о физическом вакууме нашей Вселенной [Верешков, Минасян 2011; Латыпов, Бейлин, Верешков 2001; Минасян 2005].

Следует особо отметить большое почитание Эйнштейном философии. В письме от 30.X.1924 г. Эйнштейн писал своему другу Морису Соловину: «Я всегда интересовался философией, но для меня она была на втором плане» [Эйнштейн 1967, 551]. Из писем явствует интерес ученого к философским построениям Демокрита, Ксенофана, Эпикура, Гераклита, Юма, Беркли, Спинозы, Канта, Шопенгауэра. Свидетельств того, что Эйнштейн интересовался, в том числе философией Гегеля, нет. Учитывая его особый интерес к учениям Спинозы и Канта, оказавших главное влияние на гегелевский монистический универсализм, а также влияние на Эйнштейна работ Маха, постоянно апеллирующего в своих трудах к Гегелю, можно согласиться с выводами Ю.А. Жданова, что если встреча Эйнштейна с Гегелем не произошла в прошлом, то она еще предстоит [Жданов 2009, 197]. Здесь важно подчеркнуть следующее: Гегелем реализуется *унифицированная* концепция саморазвертывания субстанционального целого (для нас сейчас неважно в образе ли духа или материи оно представлено). Это идеологически совпадает с программой единой теории поля при том важном различии, что физическая концепция не включает в круг своего рассмотрения сознание как модуса или же, еще определеннее, мыслящий дух как атрибута, необходимого условия существования субстанционального целого. Это означает, что физическая теория лишь в начале пути. Но уже сейчас из уст ученых следуют высказывания в русле «вежливой религиозности» (А. Сахаров), популярна концепция ноосферы В.А. Вернадского, тревожит интуицию ситуация, связанная с парадоксом Эйнштейна–Подольского–Розена и рассуждениями

о сложной структуре вакуума, с неустановленными подсистемами которого может быть связана провозглашенная Уилером возможность существования информационных полей. К этому можно добавить вариант интерпретации ОТО с включением нелокального наблюдателя, как «совокупности бесконечного числа тел, заполняющих все пространство, наподобие некоторой “среды”» [Ландау, Лифшиц 1988, 512]. Известно, что с позиций диалектического материализма гипотеза о существовании мыслящего духа как атрибута, необходимого условия существования материи, активно развивалась в работах отечественного философа Э.В. Ильенкова [Ильенков 1981, Ильенков 1991]. В модели суперсимметрии, связанной с группой $E_8 \times E_8'$, одна из подгрупп после спонтанного нарушения симметрии содержит информацию о физической структуре нашего мира, тогда как вторую подгруппу, сохраняющую симметрию, называют теневой или «потусторонним» миром. Все это, естественно, будоражит воображение «популяризаторов» и «изобретателей» от науки. Оставляя обсуждение последних за рамками статьи, отметим обязательность позитивистской сдержанности и математической строгости при интерпретации научных результатов. То же относится и к анализу тезиса о формах существования материи.

Говоря об определениях понятий пространства и времени, отмечая необходимость выявления тех моментов, которые выступают в качестве движения как отношения между ними, однако, отношения не внешнего, Гегель восклицает: «Должно же наконец наступить время, когда наука осознает метафизические категории, которыми она пользуется, и положит в основание своих размышлений понятие предмета вместо этих категорий!» [Гегель 1975, 94]. Ученый постоянно подчеркивает, что ньютоновская концепция пространства есть полнейшая *внешность*. Обычное представление принимает, что *пустое* пространство и время *наполняются* извне материей, и, таким образом, оно, с одной стороны, принимает, что материальные предметы равнодушны к пространству и времени, а с другой стороны, что они все же по существу своему носят пространственный и временной характер [Гегель 1975, 61]. Монистическая установка Гегеля категорически не приемлет такого положения вещей, для него движение как становление есть *непосредственно тождественное* налично существующее единство пространства и времени [Гегель 1975, 61]. А что же по вопросу о форме? Форма выступает со стороны своих различий вроде бы в отдельных и разделяемых формах пространства, времени и движения, но в развитой тотальности эта внеположенность понимается как всецело определенная материей, и материя ничего не представляет собой вне этой своей внеположенности. Здесь авторы статьи вынуждены внести определенную ремарку.

Читатель, по всей видимости, уже отметил, что термин «материя», общепринятый в физической научной литературе, авторами статьи берется в кавычки, потому что в данном случае речь идет, по терминологии Гегеля, об «окачественной» материи, описываемой в теории тензором энергии-импульса. Материя как философская категория, формами которой выступают пространство, время и движение, несет в себе другой смысл и есть «простое лишенное различий тождество, которое есть сущность с определением быть иным форме. Материя как пассивное противоположно форме как тому, что деятельно. Потому материя должна принять форму, а форма должна материализоваться, сообщить себе в материи тождество с собой, иначе говоря, устойчивость» [Гегель 1971, 78–79]. Форма, таким образом, материализована. Материя же «получает свою самость, свою определенную форму; она теперь окачественная материя» [Гегель 1975, 116].

Ирония проблемы состоит в том, что обсуждаемый нами тезис генетически вырастает-таки из философии Гегеля, но на протяжении длительного периода все рассуждения о пространстве и времени как о формах существования материи исходят из установки об их различении и о представлении о материи как об «окачественной материи», что в корне противоречит гегелевскому пониманию взаимоотношения категорий сущности и формы. У Гегеля внешность, видимость – это еще не форма, это кажимость, и она несущественна. Сама форма распадается в гносеологическом процессе проникновения в сущность явления на внешнюю и внутреннюю форму. Внутренняя форма – это и есть то содержание, когда даже нельзя спрашивать, каким образом форма присоединяется к сущности. Здесь следует подчеркнуть, что

диалектический метод разрабатывается Гегелем в контексте рассмотрения любой определенности вместе с содержащейся в самой этой определенности отрицательностью, которая является свойством самой определенности, иначе: сущность имеет не внешнее другое, а ее собственное другое. Определяя сущность без акцента на ее отрицательность, т.е. как лишенное формы тождество с самой собой, мы приходим к категории *материи*. Сущность, тождественная с собой в своей отрицательности непременно имеет некоторую форму и определения формы. «Форма имеет в своем собственном тождестве сущность, равно как сущность имеет в своей отрицательной природе абсолютную форму» [Гегель 1971, 75]. Именно форме, по Гегелю, принадлежит все *определенное*, «поскольку оно нечто положенное и тем самым отличное от *того*, форму *чего* оно составляет» [Гегель 1971, 75]. Таким образом, категория материи как субстанциональное целое приобретает свою «окачественность» в разнообразных природных объектах только в связи со своей отрицательностью, в снятии себя в определенности конкретной формы. «Материя благодаря отрицанию ее вне-себя-бытия в тотальности получила в самой себе прежде всего лишь искомый центр, свою самость, свою определенную форму» [Гегель 1975, 116]. Материя, как голая масса, бесформенна, в лице индивидуального тела достигается форма [Гегель 1975, 116].

Задача современной физики лежит в русле определения, каким образом и почему именно таким образом материя конструирует собственную пространственно-временную структуру, начиная с конфигурации, в которой пространство и время отсутствуют. Гегель считает, что именно Кант положил начало понятию материи как категории в современном ее понимании. И тут же бросает упрек Канту в его попытке построения материи, не задаваясь вопросом о том, как из сил притяжения и отталкивания, вводимых им в работе «Метафизические начала естествознания» [Кант 1966], проистекает материя, а считает ее чем-то *готовым* [Гегель 1975, 65].

Какую интерпретацию дал бы Гегель современным научным достижениям? Скорее всего, посчитал бы, что здесь работает предложенный им метод, хотя проблема взаимоотношения материи и мышления остается пока за рамками строгого анализа.

Источнику — Primary Sources

Гегель 1971 — *Гегель Г.* Наука логики. Т.2. М.: Мысль, 1971 [Hegel, Georg. *Wissenschaft der Logik*. Erster Teil. *Die objektive Logik*. II (Russian translation)].

Гегель 1975 — *Гегель Г.* Энциклопедия философских наук. Т. 2. Философия природы. М.: Мысль, 1975 [Hegel, Georg. *Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse*, Zweiter Teil (Russian translation)].

Зельдович 1981 — *Зельдович Я.* Теория вакуума, быть может, решает загадку космологии // Успехи физических наук. М., 1981. Т. 33. Вып. 3. С. 479–503 [Ziel'dovich, Yakov. *The Vacuum Theory, may be, Solved the Riddle of Cosmology* (In Russian)].

Ильенков 1984 — *Ильенков Э.В.* Мышление как атрибут субстанции / Ильенков Э.В. Диалектическая логика: Очерки истории и теории. М.: Политиздат, 1984. С.48–57. [Ilyenkov Evald. *Thinking as an Attribute of the Substance* / Ilyenkov E. *Dialectic Logic. Essays on the History and Theory* (In Russian)].

Ильенков 1991 — *Ильенков Э.В.* Космология духа / Ильенков Э.В. Философия и культура. М.: Изд-во политической литературы, 1991. С. 415–437 [Ilyenkov E. *Cosmology of the Spirit* / Ilyenkov Evald. *Philosophy and Culture* (In Russian)].

Кант 1966 — *Кант И.* Метафизические начала естествознания / Кант И. Сочинения в шести томах. М.: Мысль, 1966. Т. 6. С. 53–175 [Kant, Immanuel. *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* (Russian translation)].

Ландау, Лифшиц 1988 — *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 тт. Т.II. Теория поля. М.: Наука, 1988 [Landau, Lev D., Lifshitz, Evgeny M.. *Course of Theoretical Physics*. VII. *The Classical Theory of Fields* (In Russian)].

Уиллер 1970 — *Уиллер Дж.* Предвидение Эйнштейна. М.: Мир, 1970 [Wheeler, John. *Einsteins Vision* (Russian translation)].

Фейнман 1968 — *Фейнман Р.* Характер физических законов. М.: Мир, 1968 (Feynman, Richard. *The Character of Physical Law* (Russian translation)].

Эйнштейн 1966^a — *Эйнштейн А.* Пространство-время / Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т.II. М.: Наука, 1966. С. 234–243 [Einstein, Albert. *Space-time* (Russian translation)].

Эйнштейн 1966^b — *Эйнштейн А.* Относительность и проблемы пространства / Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т.II. М.: Наука, 1966. С. 744–759 [Einstein, Albert. *Relativität und Raumproblem / Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (gemeinverständlich)* (Russian translation)].

Эйнштейн 1966^b – *Эйнштейн А.* Проблема пространства, эфира и поля в физике / Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. II. М.: Наука, 1966. С. 275–282 [Einstein, Albert. *Raum-, Äther- und Feldproblem der Physik* (Russian translation)].

Эйнштейн 1966^c – *Эйнштейн А.* Проблема пространства, поля и эфира в физике / Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. II. М.: Наука, 1966. С. 283–285 [Einstein, Albert. *Das Raum-, Feld- und Ätherproblem in der Physik* (Russian translation)].

Эйнштейн 1967 – *Эйнштейн А.* Письма к Морису Соловину. Собрание научных трудов. Т. IV. М.: Наука, 1967. С. 547–575 [Einstein, Albert. *Briefe an Maurice Solovine* (Russian translation)].

Ссылки — References in Russian

Верешков, Минасян 2011 – *Верешков Г.М., Минасян Л.А.* Понятие вакуума и эволюция ранней Вселенной / Казютинский В.В. (ред). Современная космология: философские горизонты. М.: Канон+, 2011. С. 308–312.

Грин 2004 – *Грин Б.* Элегантная Вселенная. М.: УРСС. 2004.

Гросс 2006 – *Гросс Д.* Грядущие революции в фундаментальной физике // <http://elementy.ru/lib/430177>.

Жданов 2009 – *Жданов Ю.А.* Эйнштейн и Гегель / Жданов Ю.А. Избранное. Т. 1. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ ЮФУ, 2009. С. 185–198.

Латыпов, Бейлин, Верешков 2001 – *Латыпов Н.Н., Бейлин В.А., Верешков Г.М.* Вакуум, элементарные частицы и Вселенная. М.: МГУ, 2001.

Минасян 2005 – *Минасян Л.А.* Единая теория поля. Философский анализ современных проблем физики элементарных частиц и космологии. Опыт синергетического осмысления. М.: КомКнига, 2005.

References

Vereshkov, Grigory M., Minasyan, Larisa A. (2011) ‘The Concept of Vacuum and Evolution of the Early Universe’, *Kazutinsky Vadim V. («ed.»). Modern Cosmology: Philosophical Horizons*. Kanon+, Moscow, pp. 308–338 (in Russian).

Green, Brian (2000) *The Elegant Universe*, Random House Inc, New York (Russian translation).

Gross, David (2006) *The Coming Revolutions in Fundamental Physics*. <http://elementy.ru/lib/430177> (Russian translation).

Zhdanov, Yuri (2009) ‘Einstein and Hegel’. *Zhdanov, Yuri A. Favorites. Band 1*. SFedU SFU, Rostov-on-Don, pp. 185–198 (in Russian).

Latipov Nurali N., Beylin Vitali A., Vereshkov Grigory M. (2001) *Vacuum, Elementary Particles and the Universe*. M.: MSU, 2001 (in Russian).

Minasyan, Larisa A. (2005) *Unified Field Theory*. M.: KomKniga, 2005 (in Russian).

Lehmkuhl, Dennis (2014) ‘Why Einstein did not believe that general relativity geometrizes gravity’, *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, V.46, Part B (2014), pp. 316–326. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1355219813000695>

Сведения об авторе

МИНАСЯН Лариса Артаваздовна – доктор философских наук, профессор, декан, профессор кафедры физики Донского государственного технического университета.

БЕЙЛИН Виталий Александрович – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела теоретической физики Южного федерального университета.

ЛЕЩЕВА Ольга Александровна – доцент кафедры физики Донского государственного технического университета, Ростов-на-Дону.

Author’s information

MINASYAN Larisa A. – DSc in philosophy, Dean, Professor of the Department of Physics of Don State Technical University, Rostov-on-Don.

BEYLIN Vitali A. – CSc in physics, Associate Professor, Senior Researcher of Department of Theoretical Physics of South Federal University, Rostov-on-Don.

LESHCHEVA Olga A. – Associate Professor of the Department of Physics of Don State Technical University, Rostov-on-Don.