

DOI: 10.22363/2224-7580-2023-2-23-37

EDN: KWNTVC

РЕЛЯЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ: МЕТАФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ

В.В. Аристов

*Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН
Российская Федерация, 119333, Москва, Вавилова, д. 44, кор. 2*

Аннотация. Вопросы общего философского, метафизического характера о свойствах пространства и времени неизбежно пересекаются с их физической интерпретацией в том числе и в гипотетических опытах. В настоящей работе изучаются реляционные представления о предельных философских категориях, что позволяет конкретизировать способы задания пространства и времени. Проводится сопоставление такого подхода с концепцией Лейбница. Развитие реляционных теоретических положений подводит к предсказаниям новых эффектов и обсуждению их возможных экспериментальных проверок. Сделан вывод о том, что основания и будущие пределы теории в определенном смысле могут быть согласованы.

Ключевые слова: реляционное пространство и время, концепция Лейбница, метафизические основания

Введение

Реляционная статистическая концепция пространства и времени выступает как более общая по сравнению с существующими физическими теориями. Для построения цельной концепции необходимо в едином философском ключе связать все представления. Можно определить и ряд отдельных важных задач:

- 1) по принципу соответствия получить, вывести известные физические уравнения;
- 2) изучить возможности соединения отдельных теоретических частей существующей физики;
- 3) попытаться предсказать новые физические эффекты, не описываемые в рамках нынешней теории.

Все эти проблемы по-разному рассматривались и ранее, но в настоящей работе предпринимается попытка вернуться на новом уровне к философским основам реляционной концепции. В начале работы внимание сосредоточено на развитой реляционной концепции Лейбница, в которой неявно формулируются вопросы о возможной будущей физико-математической разработке. Обсуждаемые затем гипотетические эксперименты позволяют взглянуть на

это по-иному. Рассматриваются основания нашей реляционной статистической модели, делается краткий обзор структуры теории и говорится о возможности новых эффектов. Причем выделяются опыты, которые в принципе можно реализовать в ближайшем будущем, а также намечаются гипотетические эксперименты, некоторые следствия которых в случае реализации способны поставить вопрос о соединении своих философских смыслов с основами разрабатываемой реляционной теории.

Реляционный подход в соотнесении с представлениями Лейбница

Достаточно подробный исторический очерк реляционных взглядов на пространство и время приведен в нашей работе [1]. Однако стоит сосредоточиться на весьма разработанной системе таких представлений, по сути, реляционных, которую предложил Готфрид Лейбниц. Все же надо подчеркнуть, что при всей математической изощренности – а Лейбниц один из создателей той дисциплины, которую называют высшей математикой, – он не оставил даже наброска математизированной теории пространства и времени. Поэтому, следуя его общим воззрениям, необходимо стремиться развивать и ее физико-математическую интерпретацию.

Лейбниц, возможно, впервые подошел к тому, чтобы ясно сопоставлять представления о началах пространственно-временного описания с такими простейшими понятиями, как тождественность и различие, что способно конструктивным путем связаться и с разрабатываемыми нами реляционными моделями.

По Лейбницу, пространство – порядок сосуществующих элементов. Время – последовательность таких порядков. Ли Смолин писал в [2]: «В картине мира Лейбница все сущее находится не в пространстве, а погружено в сеть взаимодействий. Эти связи определяют пространство (а не наоборот)». В своей книге [3] Ю.С. Владимиров подчеркивает отчетливо реляционный характер концепции Лейбница – не может быть пространства и времени, если из мира удалить все элементы. Вот высказывание самого Лейбница в письме Кларку [4]: «Я неоднократно подчеркивал, что считаю пространство, так же, как и время, чем-то чисто относительным: пространство – порядком сосуществования, а время порядком последовательностей. Ибо пространство с точки зрения возможности обозначает порядок одновременных вещей, поскольку они существуют совместно, не касаясь их специфического способа бытия. Когда видят несколько вещей вместе, то осознают порядок, в котором вещи находятся по отношению друг к другу».

Стоит все же уточнить соответствие между лейбницеvским понятием монады и его представлением о телах, отношения между которыми задает пространство. Лейбниц говорил в «Монадологии» о том, что монада есть не что иное, как простая субстанция, то есть не имеющая частей, монады и суть истинные атомы природы, одним словом, элементы вещей. С помощью таких элементов – в определенной иерархии монад от метафизических элементов до вещей (тел) – и трактуется пространство и время.

Заметим сразу, что такая формулировка прямо пересекается с нашим определением пространства (в некотором смысле соотносимым с операционализмом Бриджмена), в котором пространство трактуется как конфигурация элементов, то есть масс, что представляет собой реляционную статистическую модель среды масштабных линеек. Время в нашем подходе задается сменой пространственных картин элементов, каждая из таких картин задается идеальной «фотографией», представляющей «порядок одновременных вещей».

Приведем цитату из книги французского философа Жиля Делёза «Лекции о Лейбнице» [5]: «То, что я называю пространством и временем, есть порядок сосуществований и последовательностей между монадами, так что получается, что они могли бы менять пространство, места в пространстве или моменты во времени, а сами не менялись бы... Время актуально, если вы воспринимаете его как порядок последовательности монад и монады эти актуальны.»

В [6] В.Н. Катасонов говорит о «Монадологии» Лейбница: «В ней все монады – суть не материальные, а индивидуальные духовные существа, отличные одна от другой степенью своей „пробужденности“. Монады являются у Лейбница „метафизическими атомами“ творения, а материальные тела, как и пространство и время, лишь феноменальными формами восприятия монад. ...Принцип индивидуальности всего сущего проведен Лейбницем через всю систему его метафизики... встает вопрос: если мы, отправляясь от макроуровня, двигаемся в направлении уменьшения размеров, то где, как и почему качественное разнообразие мира вдруг сменяется однообразием микромира? По Лейбницу, это было бы нарушением закона непрерывности и закона изономии... Поэтому для Лейбница подобные соображения являются доводом „против атомов“».

Отметим и высказывания В.Д. Эрекаева, который обращает внимание на некоторые проблемные моменты в лейбницеvской концепции [7]: «...Формулировку Лейбница, в которой он говорил о вещах (телах), восприняли как дискретный реляционизм. ...Правда, у самого Лейбница основу мироздания составляют не физические атомы – монады, что затрудняет естественнонаучный анализ. ...Лейбниц не мог отрицать существование частиц, корпускул, как составных частей тел, которые в его концепции, как и все неорганическое, представляли собой „спящие монады“. Монады не существуют в пространстве... это является серьезным противоречием: непрерывная реальность каждого тела и вся совокупность отдельных дискретных тел, чья упорядоченность формирует реляционное пространство – идеи плохо совместимые. ...Пространство задают именно тела, а точнее – порядок их сосуществования. Но что представляет собой этот порядок? Каким образом упорядоченность задает пространство?.. В своей формулировке Лейбниц, фактически, сформулировал связь пространства, времени и материи: пространство с точки зрения возможности обозначает порядок одновременных вещей. ...В истинно дискретном пространстве нет рядоположенности. В нем нет наблюдаемого сосуществования. Есть только автономное существование отдельных тел (релят)».

Мах был продолжателем идей Лейбница и фактически создателем современной концепции реляционных представлений (пусть в основном в качественном смысле), он отрицал возможность введения пространства и времени в отсутствие тел в мире. Но можно заметить, что, по сути, аналогично Лейбницу он отрицал – конечно, со своих позиций – существование атомов, Мах писал в [8]: «Естествознанию... не следовало бы... смотреть на созданные им самим изменчивые средства экономии – на атомы и молекулы – как на какие-то крошечные за явлениями реальности. ...Пусть атом останется средством, помогающим изображению явлений, и служит тем, чем служат математические функции».

При этом и Лейбниц, и Мах создали свои системы представлений – Монадологию и принцип Маха (в обобщенном смысле), где микрокосм смыкается с макрокосмом.

Генезис понятий пространства и времени в реляционной концепции

Вопрос о пространстве и времени может быть отнесен к самым фундаментальным проблемам описания мира. Причем с реляционной точки зрения важна не предзаданность этих понятий, но их построение. Можно попытаться реконструировать процесс происхождения этих категорий из более простых концепций. (Здесь допустимо поставить даже более общую проблему, о которой Лейбниц прямо не говорит, но которая, кажется, брезжит в его трудах: почему вообще мир надо описывать только такими двумя категориями? То есть пространством и временем? Возможно ли описание, опирающееся и на другие, столь же фундаментальные понятия?)

Можно сказать, что в нашем подходе реализуется модель лейбницевого «дискретного реляционизма». Но существенно, что вводится «наблюдатель», – важное понятие при построении реляционного пространства и времени. Наблюдатель и организует разрозненные элементы мира («реляты» в терминах Эрекаева). В наших построениях многие проблемы, возникающие при обсуждении концепции Лейбница, разрешаются именно введением наблюдателя, соотносимого затем с инструментами для физических измерений. Прежде всего с приборами для определения характеристик пространства и времени – «спациомером» и «темпорометром» соответственно. Такие инструменты реализуют теоретические схемы конструирования пространства и времени. Они воспроизводят метрические свойства пространства-времени, но только к таким возможностям их функции не сводятся. Идеальный фотоаппарат на фотоснимке запечатлевает всю сумму элементов мира. Это мгновенный слепок реляционного пространства, который построен из соположенных вещей (в понимании Лейбница).

Важно понять, что в первоначально заданном мире нет пространства и времени ни по отдельности, ни даже слитого в единстве некоего пространства-времени. Еще только предстоит создать эти понятия, руководствуясь самыми общими идеями. Среди таких возможных исходных представлений главные – разделение и отождествление. Что из них предшествует другому?

Без возможности что-то зафиксировать, мир первичного хаоса предстает как некое мерцание, где возникают и исчезают в восприятии элементы. Может ли наблюдатель служить неким образцом для понимания самотождественного «я»? Что допустимо по некоторой аналогии перенести и на восприятие элементов мира?

Наблюдатель формирует представления из самых общих и простых ощущений. Он выделяет элементы мира из первоначального хаоса и вводит первичный порядок, а затем организует и строит пространство и время. При установлении начального созерцания со способностью что-то различать и при этом объединять вырисовывается некий комплекс элементов. Наблюдатель может опознавать один и тот же элемент: в хаосе появляются протопространство и время – различение и тождественность в различном. Тогда может проявляться и реляционность в духе Лейбница: пространство – это соположение в данном случае различаемых элементов (иначе нельзя было бы говорить о соотношении), время – это последовательность – в данном случае последовательность состояний одних и тех же (опознаваемых за тождественные наблюдателем) элементов.

Важна способность наблюдателя отделять себя от мира, что позволяет ввести первичное отношение субъект-мир, задающее уже некую одномерность. Здесь не возникает вопрос о происхождении изменчивости: это настолько же свойство объекта, насколько и свойство наблюдателя: если он фиксирует нетождественность состояния (по изменению взаимоотношения различающихся элементов) для тождественного элемента, то можно говорить о появлении изменчивости – существенном свойстве времени.

Так появляются первоэлементы пространства и времени, это те «примитивы», из которых можно строить более сложные структуры. Возникает слабо структурированная, но дискретная уже среда. С помощью фигуры наблюдателя можно затем на ее основе вводить и усложнять инструменты для дальнейшего «распознавания мира». Проводить измерения следует с помощью макроскопических приборов, что означает постепенное (реально в течение многих столетий) совершенствование, уточнение, сопоставление с органами чувств и практическими потребностями, теоретическим знанием, – постепенным созданием знакомых нам приборов, а именно часов и линеек.

Выделение помимо наблюдателя и всей дискретной среды, что, как указывалось, определяет одномерность времени, некоторого элемента (или элементов) в этой среде, что связано со свойством различения для построения пространства, приводит к трехмерности: наблюдатель – элемент – вся остальная среда, об этом по-своему говорится и в [9].

Упомянем также, что вопросы, связанные с пониманием пространства и времени, затрагивает Джон Локк (известна его переписка с Лейбницем по гносеологическим темам). Он говорил о «времени» и «продолжительности» («длительности»), а также «месте» и «распространенности» («протяженности»). Он писал: «Время так относится к продолжительности», как место к распространенности... время и место постольку принимаются за части продолжительности и протяжения, поскольку они выделены существованием и

движением тел» [10]. С позиции нашего реляционного подхода это можно трактовать как указание на переживание мгновения и изменчивости («точку» и «дифференциал»), на время-мгновение и время-длительность.

Развитие теоретической концепции и возможные эксперименты

Можно кратко описать некоторые полученные результаты в процессе развития реляционной статистической концепции пространства-времени. В данном варианте построения реляционного пространства и времени не постулируются некоторые абстрактные уравнения, но все соотношения связываются с заданием приборов. Предполагается, что физические понятия зависят от наблюдения, и без такой процедуры физические величины не имеют ясного смысла. На этом пути, основываясь на принципе соответствия, удастся вывести известные соотношения и уравнения существующей физической теории. Надо отметить, что развиваемая реляционно-статистическая модель в чем-то сходна с реляционной моделью Ю. Барбура (J. Barbur) [11], но в отличие от нее в наших построениях не заложены известные уравнения движения. Они выводятся из постулируемых соотношений, выражающих связь конфигураций масс – с пространством и изменение пространственных картин – со временем. Полезно пояснить: теоремы Эмми Нётер опираются на заданные уравнения Лагранжа. В наших построениях из постулируемого уравнения связи времени и пространства следует аналог закона сохранения кинетической энергии. Затем выявляется симметрия относительно преобразования Галилея, и в силу такой симметрии получается (аналогично смыслу нётеровских теорем) закон сохранения импульса, что приводит к уравнениям движения.

В рамках единого теоретического аппарата описываются эффекты ОТО и квантовой механики [12; 13], что связано с разработкой новой дискретной геометрической схемы. На микромасштабах неоднозначность понятия расстояния в дискретном пространстве ведет к индетерминизму и квантовым эффектам – здесь строится своеобразная неевклидова геометрия. Наличие тела, вносящего массовую пространственную неоднородность, которая опознается в сравнении с однородным распределением масс в эталонной среде, на макро-масштабах задает риманову геометрию и определяет гравитационные эффекты. В результате выписываются более общие по сравнению с обычными уравнения с учетом обоих эффектов.

Однако при построении новой теории всегда возникает вопрос о принципиальной верифицируемости (фальсифицируемости), связанной с опытной проверкой, что допускает постановку и «решающего эксперимента». Стоит различать опыты ближней и дальней перспективы. Первые можно провести в обозримом будущем, вторые – в отдаленном.

Возможность экспериментальной проверки (ближняя перспектива)

В наших работах мы уже упоминали о возможности обнаружения отличий в предсказаниях реляционной статистической модели и ОТО [14],

например, отклонений луча света или радиосигнала вблизи Солнца. Такие опыты могли бы быть в принципе поставлены в ближайшее время, см. [15]. Обзор опытных данных в этой области, в частности результаты тестов по проверке эффектов ОТО, приведен в [16]. Здесь указано, например, как росла точность экспериментов по проверке указанных эффектов ОТО за годы наблюдений. Авторы (годы исследований) и соответственно относительная точность опытов приведены в такой последовательности: Robertson et al. (1991) – 0.002; Lebach et al. (1995) – 0.0008; Shapiro et al. (2004) – 0.0002. Но для проверки предсказываемых отличий от традиционного описания требуется все же повысить эту точность на несколько порядков. Согласно нашей модели, отличие от метрики Шварцшильда сказывается во втором порядке отношения гравитационного радиуса Солнца и расстояния до места наблюдения. Эта величина составляет $(r_g/r)^2 \sim 10^{-11}$. Наиболее точные из известных экспериментов дают погрешность в отклонении радиосигнала 10^{-9} , значит, чтобы почувствовать влияние членов второго порядка, то есть 10^{-11} , надо повысить точность эксперимента по крайней мере на два порядка. Хотя прогресса в повышении точности подобных опытов (включая и эффект запаздывания сигнала) не отмечено в последние годы, в таких экспериментах заложены возможности для проверки отличий от предсказаний ОТО, если повысить точность на несколько порядков (желательно на 3–4 порядка).

Возможность экспериментальной проверки (дальняя перспектива)

Другого рода предсказания предназначены для будущего и связаны, как будет сказано, по сути, и с некоторыми метафизическими представлениями. Возможность соотнесения показания часов с соответствующей суммой основана на близости математического ожидания и среднего по испытаниям (см. [17–18]) и выражается в законе больших чисел, причем важно, чтобы выполнялась центральная предельная теорема. Сравнение показания реальных часов (относимого к математическому ожиданию) с выражением соответствующей суммы в интервале реляционного времени дает

$$d\tau_c = d\tau(1 + O(\frac{1}{\sqrt{N}})).$$

Здесь индексом «с» отмечена величина времени, измеренная по часам (“clock”). При выполнении требуемых условий интервал времени по физическим часам отличается от модельных статистических часов на малую величину $1/\sqrt{N}$, связанную с числом N частиц в системе. Для числа Эддингтона 10^{80} данное относительное отличие 10^{-40} .

Заметим, что масштаб $N \sim 10^{80}$ проявляется в соотношениях космологических совпадений. В них связываются по сути фундаментальные величины микромасштабов и масштабов космологических (обобщенный принцип Маха). Статистическая природа концепции и заключена в оценках, пришедших из закономерностей теории вероятностей. Дробные степени числа N , и прежде всего $1/2$, демонстрируют эти связи. Статистическая относительная

ошибка, обратно пропорциональная $N^{1/2}$, фигурирует в различных соотношениях, представленных во многих источниках.

В основе выводимых физических уравнений лежат, согласно рассматриваемой теории, математические аксиомы и их следствия, см. [19]. Поэтому все уравнения, включая уравнения движения и уравнения для силы, получаются с точностью до такой малой статистической ошибки после подстановки в математические соотношения величин, измеряемых по фундаментальным приборам. Поскольку будут вноситься статистические ошибки указанного порядка, хотя погрешность очень мала, что может служить источником ряда эффектов.

В частности, на такую относительную величину эффективно отличаются массы элементарных частиц одного типа, что предположительно проявляется в анизотропии масс. Это могло бы стать подтверждением справедливости принципа Маха. Такое отличие масс (например электронов) обсуждалось в теоретической работе [20]. Анизотропия масс пока не обнаружена в опытах с точностью 10^{-23} , см. [21–22]. Эксперименты последнего времени, см. [16], позволили несколько повысить точность, но с тем же выводом.

Возможно также нарушение эквивалентности инертной и гравитационной масс поскольку гравитационный ньютоновский потенциал получается в данной концепции путем сравнения двух сумм случайных чисел. Отклонение от точного соотношения также равно указанной статистической погрешности. Обсуждение опытов таких проверок приведено в [16]. Современные эксперименты, конечно, пока далеки от ожидаемых величин погрешности 10^{-40} . Например, известные опыты Брагинского и Панова подтверждали принцип эквивалентности с точностью 10^{-12} . Современная достигнутая точность $\sim 10^{-13}$, см. [23]. Согласно [24] предполагается поставить проверочные опыты с точностью 10^{-18} .

Мы рассмотрим также возможность иных статистических закономерностей, связанных с нарушением закона больших чисел и предельных теорем при наличии отдельных членов, существенно превышающих значение других членов в рассматриваемой статистической сумме, что ведет и к изменению уравнений кинематики и динамики. Для справедливости предельной теоремы требуется выполнение условий, основанных на примерно равном вкладе всех членов суммы. Более точно: требуется равномерная малость отличия случайной величины от ее математического ожидания. Выяснение сходимости к нормальному закону последовательности независимых, но не обязательно одинаково распределенных случайных величин сводится к выяснению выполнения необходимого и достаточного условия асимптотической нормальности Линдеберга–Феллера, см. [25].

Данное условие может нарушаться, если выполнено такое соотношение, что дисперсия одной частицы оказывается сравнимой с суммой дисперсий других частиц. Достаточно даже, чтобы эта дисперсия одной частицы была не в n раз, а в $n^{1/2}$ раз больше среднеквадратичной дисперсии всех частиц, в таких условиях можно положить, что и между самими величинами имеет

место такое же соотношение. Математические подробности будут приведены в будущей отдельной статье.

Частица со столь большой скоростью оказывается «выделенной» среди других частиц мира, которые своими параметрами входят в глобальные суммы, формирующие величины, отвечающие за пространство и время реляционной статистической теории. В результате выражения, например, соотношений сохранения импульса и энергии меняются. При взаимодействии таких быстрых частиц должна сохраняться уже не сумма кинетических энергий, но других величин, отличающихся от известного значения кинетической энергии при небольших скоростях на малую величину. Полагаем, что есть частица, движущаяся с очень большой скоростью. Это означает, что на фотографии пространственные смещения этой частицы существенно превышают смещения других, так что нарушается центральная предельная теорема. Выделяем этот самый большой член суммы пространственных интервалов, которая определяет интервал времени. Теперь статистическое соответствие суммы случайных величин и измерений по часам будет справедливым, если не включать в сумму указанный выделенный член. Разность среднего от значений случайных величин и среднего от их математических ожиданий делится на корень из суммарной дисперсии, нормированный на количество членов в сумме N . Отсюда следует, что (по порядку величины это можно заключить и из соотношения закона больших чисел) данная нормированная разница составляет величину порядка $1/\sqrt{N}$. Поэтому когда один из членов суммы станет величиной такого же порядка, то будет заметно отличие в указанных математических вероятностных закономерностях, что приведет к отличию от традиционного описания движения при очень больших скоростях.

Покажем схематично, как можно получить такие оценки. В соответствии с вышесказанным если смещение одной частицы сравнимо со смещениями всей суммы S других частиц, вернее, с величиной в \sqrt{N} раз меньше ее, то приведенное условие нарушается. Такое соотношение можно легко записать, полагая для простоты, что все квадратичные члены в сумме одного порядка. Тогда получаем

$$dr_1^2 \sim \frac{S}{\sqrt{N}} \sim \frac{\sum_{i=2}^N dr_i^2}{\sqrt{N}} \sim dr^2 \sqrt{N}. \quad (1)$$

Для простоты мы предполагаем, что среднее от приращений всех радиусов-векторов равно нулю, то есть мы рассматриваем систему отсчета, где начало соотнесено с центром мира. Тогда с учетом этого соотношения получаем выражение для скорости 1-й частицы

$$u_1^2 = \frac{dr_1^2}{d\tau^2} = \frac{dr_1^2}{\frac{a^2}{N} (dr_1^2 + \sum_{i=2}^N dr_i^2)}.$$

Если справедлива оценка (1), то мы не включаем квадрат пространственного смещения этой частицы в сумму, которой будет соответствовать математическое ожидание, отвечающее за показания часов, то есть суммирование для получения показания по часам надо вести, начиная со 2-й частицы:

$$d\tau_c^2 = \frac{a^2}{N} \sum_{i=2}^N (dr_i - \frac{1}{N} \sum_{j=2}^N dr_j)^2.$$

Тогда

$$\frac{dr_1^2}{\frac{a^2}{N} dr_1^2 + d\tau_c^2} = \frac{u_{1c}^2}{\frac{a^2}{N} u_{1c}^2 + 1} = \frac{u_{1c}^2}{1 + \frac{u_{1c}^2}{c^2 N}}.$$

Значит, теперь при взаимодействии, например, двух частиц с такими большими скоростями следует не сохранение обычной кинетической энергии, а сохранение суммарной величины, где в знаменателях к 1 добавляются члены согласно последней формуле, то есть меняется характер динамики.

Найдем теперь величину квадрата интервала времени в «лабораторной системе отсчета», в которой обычно определяются скорости частиц. Согласно [1] имеем

$$dt_c^2 = d\tau_c^2 + a^2 dr_1^2 = \frac{a^2}{N} \sum_{i=2}^N dr_i^2 + a^2 dr_1^2$$

Получаем величину скорости движения 1-й частицы

$$V_1^2 = \frac{dr_1^2}{\frac{a^2}{N} \sqrt{N} dr_1^2 + a^2 dr_1^2} = \frac{c^2}{1 + \frac{1}{\sqrt{N}}} \approx c^2 (1 - \frac{1}{\sqrt{N}}).$$

Значит, предельная скорость ограничена величиной, меньшей скорости света, хотя и мало отличающейся от нее. Следовательно, и величины импульса, и энергии оказываются ограниченными. Для энергии получаем

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{V_1^2}{c^2}}} \approx \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{c^2}{c^2} (1 - \frac{1}{\sqrt{N}})}} \approx \sqrt[4]{N} mc^2.$$

Тем самым разрешается парадокс, на который редко обращают внимание. В СТО возможен неограниченный рост энергии частицы при стремлении ее скорости к скорости света. Согласно реляционным представлениям, релятивистская энергия имеет предел. Можно видеть, что оценка этого предельного значения $E = mc^2 N^{1/4}$.

Отсюда с учетом соотношения неопределенностей можно получить предельно достижимое малое расстояние. Оно оказывается равным $r \sim r_e N^{1/4}$, эта величина имеет порядок планковской длины 10^{-33} см (здесь r_e – радиус

электрона). Покажем это. В данной реляционной статистической модели удастся связать в единой схеме два принципиально различных масштаба: комптоновский масштаб и гравитационный радиус электрона. В выражении для планковской длины можно выделить эти масштабы. Имеем

$$r_{Pl} = \sqrt{\frac{Gh}{c^3}} = \sqrt{\frac{Gm_e h}{c^2 m_e c}} = \sqrt{\frac{r_g h}{m_e c}} = \sqrt{\frac{r_e h}{\sqrt{N} m_e c}} = \sqrt{\frac{r_e r_e}{\sqrt{N}}} = \frac{r_e}{\sqrt[4]{N}} \sim 10^{-33} \text{ см}.$$

Полагая величину точности определения указанной предельной энергии по порядку величину равной самой энергии, получаем

$$\Delta E \sim m_e c^2 \sqrt[4]{N}.$$

С учетом связи энергии и импульса имеем аналог соотношения неопределенности

$$\Delta p \Delta r \sim m_e c r \sqrt[4]{N}.$$

Принимая оценку постоянной Планка

$$h \sim m_e r_e c,$$

получим оценку по порядку величины возможного достижимого расстояния

$$r \sim \frac{r_e}{\sqrt[4]{N}} \sim 10^{-33} \text{ см}.$$

Здесь фигурирует степень 1/4 числа Эддингтона. Таким образом, макро- и микромасштабы в определенном смысле смыкаются. Достижение сверхвысоких скоростей и энергий, для которых происходит некоторое соединение микро- и макромасштабов, ставит по-новому вопрос о тождественности элементов. В квантовой механике тождественность частицы теряется. Но можно предположить, что при больших масштабах энергий она восстанавливается. Рассмотрение приводимых ожидаемых эффектов приводит по сути к новым философским и метафизическим проблемам. Отмеченные отличия в кинематике и динамике для частиц одного типа на чрезвычайно малую величину порядка $N^{1/2}$ означают фактически их отличия в массах. Обнаружить такие отличия, возможно, удастся в экспериментах с созданием указанных ультравысоких энергий. Благодаря таким оценкам может быть поставлена проблема обнаружения тонкого света с различением «тождественных» частиц. Такой предполагаемый свет, который представлен в очень узком диапазоне частот, требует для опытов создания новых приборов.

Новые возможные физические и метафизические закономерности

Реализация идеи о связи микро- и макромасштабов – при продвижении к сверхвысоким энергиям заставляет вспомнить, например, концепцию фридмонов. В [26] говорится: «...значение $M \sim 10^{-5} - 10^{-6}$ г является наибольшей

массой стабильных микроскопических объектов, предсказываемых общей теорией относительности. ...Все эти гипотетические объекты можно назвать фридмонами, подчеркивая таким названием то обстоятельство, что „изнутри“ каждый из них представляет динамический фридмановский мир» [27]. Далее автор работы [26] говорит о том, что современная теория даже приблизительно не может сказать, соответствуют ли фридмоны каким-то уже известным нам сейчас элементарным частицам (например, нуклонам или кваркам), или же это совершенно новый тип микрочастиц, которые еще только предстоит обнаружить в экспериментах. Фридмон – это всего только самая глубокая часть элементарной частицы: размер фридмона $\sim 10^{-33}$ см, а размер наблюдаемых частиц $\sim 10^{-13}$ см. Это как бы ее затравочное ядро, но именно в этом крошечном, исчезающе малом ядре может быть скрыта новая Вселенная.

Можно привести слова известного физика-теоретика Л.Б. Окуня, который писал, например, в [28]: «...экспериментально недостижимая масса Планка с каждым годом занимает все большее место в физике. Это заставляет искать для физической картины мира в каком-то смысле метафизическую раму».

Предельно большая энергия оказывается соотносима с предельно-малым (планковским) масштабом в рамках данной реляционной модели. На таком уровне возникают понятия новой самождественности элемента. Так, метафизическая умозрительность основных понятий приобретает физический смысл. Различение элементов на таких энергиях – элементов, которые на обычных масштабах тождественны, означает новые физические представления.

Таким образом, метафизика первичных понятий, что идет от лейбнице-вых монад, где понятие тождественности играет важную роль, смыкается с метафизикой самождественности частиц, которые могут быть осознаны на уровне уже сверхэнергетичных проявлений, то есть здесь тоже реляционность играет роль.

В [6] говорится о понятии тождества у Лейбница и тождественности элементарных частиц в квантовой механике: «Философ обратил внимание на то, что все вещи в мире нетождественны, уникальны... Две капли воды или молока, рассматриваемые через микроскоп, оказываются различными. Это является доводом против атомов, которые так же, как и пустота, оспариваются принципами истинной метафизики... В макромире нет тождественных по свойствам вещей. Но современная физика утверждает, что в микромире ситуация иная: все элементарные частицы тождественны ...Левкипп из Элеи и Демокрит из Абдеры считали атомы бесконечно различающимися по форме и величине. Современная же физика считает все эти элементарные частицы тождественными. ...Уже во времена Античности поняли, что индивидуальность сущего не может так просто быть отменена в микромире. Однако ново-европейская наука, поверхностно усвоив идеи античного мира, до сих пор держится представлений о тождественности элементарных частиц... Эти и подобные аргументы привели Лейбница к метафизике его *Монадологии*».

Лейбниц отрицал существование атомов, при этом он предполагал существование монад – элементов метафизической субстанции. Причем монады не имеют окон, но каждая по-своему вмещает макрокосм, и монады связаны общей гармонией. Тела могут взаимодействовать друг с другом. Можно упомянуть о важной перспективной проблеме – создание «монад с открытыми окнами», которые допустимо обозначить как «монадатом», см. [29] (такой поиск на границах понятий «монады» и «атома» обсуждался в рамках проекта «Атомизм и мировая культура» Института философии РАН).

Можно заметить, что концепцию неэлементарности адронов продвигал в свое время Дж. Чу (см., например, [30]). Так называемая гипотеза «бутстрапа» для сильно взаимодействующих частиц говорит об отсутствии более элементарных частиц. Все это перекликается с упомянутым выше. Представления о соединении микро- и макромасштабов и в философском, и в физическом поиске могут являться некоторым руководящим принципом.

Можно заключить, что предполагаемые изменения физических соотношений на планковских масштабах соотносятся с метафизическими представлениями Лейбница и Маха, которые, отрицая атомы, в концепции монад и в принципе Маха, где микро- и макрокосм соединяются, предвидели возможное объединение разных масштабов.

Заключение

В данной работе хотелось привлечь внимание к проблемам философского характера, которые неразрывно связаны и с физическими задачами, не только теоретическими, но и экспериментальными. Обсуждение будущих возможных опытов может показаться чем-то призрачным, но ситуация способна измениться. Например, недавние подробные наблюдения телескопа Джеймс Уэбб (JWST) вызвали большой интерес, см. [31] (в ходе дискуссий даже затрагивался вопрос о правомерности модели Большого взрыва). Можно сделать вывод, что реляционная парадигма способна обозначить новые перспективы физических исследований. Обсуждение общих вопросов приводит к физическим следствиям. Гипотетические эффекты способны порождать обобщения.

Литература

1. Аристов В. В. Построение реляционной статистической теории пространства-времени и физическое взаимодействие // На пути к пониманию феномена времени: конструкции времени в естествознании: сб. науч. трудов Ч. 3 / ред. А.П. Левич. М.: Прогресс-Традиция, 2009. С. 176–206.
2. Смолин Ли. Возвращение времени. М.: АСТ, 2014.
3. Владимиров Ю. С. Реляционная концепция Лейбница-Маха. М.: URSS, 2017.
4. Лейбниц Г.-В. Письма к Кларку // Лейбниц. Сочинения: в 4 т. Т. 1. М.: Мысль, 1982. С. 430–528.
5. Делез. Ж. Лекции о Лейбнице. 1980. 1986/1987. М.: Ад Маргинем, 2016. С. 362.
6. Катасонов В. Н. Физика рождает метафизику // Метафизика. 2018. № 4 (30). С. 29–42.

7. Эрекаев В. Д. О реляционизме Г. Лейбница // Основания фундаментальной физики и математики: материалы VI Российской конференции (ОФФМ-2022). М.: РУДН, 2022. С. 125-128.
8. Мах Э. Научно-популярные очерки. Вып. 1. М., 1901. С. 43.
9. Аристов В. В. Философские проблемы пространства и времени, связанные со статистической реляционной концепцией // Метафизика. 2012. № 3 (5). С. 48–63.
10. Локк Дж. Опыт о человеческом разумении. О времени и пространстве, рассматриваемых вместе // Локк. Сочинения: в 3 т. Т. 1. М.: Мысль, 1985. С. 250.
11. Barbur J. The End of Time. Oxford: Oxford University Press, 2000.
12. Аристов В. В. Реляционное статистическое пространство-время и построение единой физической теории // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2018. № 4 (25). С. 4–20.
13. Aristov V. V. Constructing relational statistical spacetime in the theory of gravitation and in quantum mechanics // Proceedings of the Fourteenth Marcel Grossmann meeting on Recent Developments in Theoretical and Experimental General Relativity, Astrophysics and Relativistic Field Theory / Eds. M. Bianchi., R.T. Jantzen and R. Ruffini. World Scientific. Singapore. 2018. P. 2671–2676.
14. Aristov V. V. The gravitational interaction and Riemannian geometry based on the relational statistical space-time concept // Gravitation and Cosmology. 2011. Vol. 17, № 2. P. 166–169.
15. Тuryshiev В. Г. Экспериментальные проверки общей теории относительности: недавние успехи и будущие направления исследований // Успехи физических наук. 2009. Т. 179, № 1. С. 3–34.
16. Clifford M. Will. The Confrontation between General Relativity and Experiment // Living Rev. Relativity. 2014. Vol. 17. P. 4.
17. Аристов В. В. Статистическая модель часов в физической теории // Докл. РАН. 1994. Т. 334. С. 161–164.
18. Aristov V. V. Relative statistical model of clocks and physical properties of time // On the way to understanding the time phenomenon: the constructions of time in nature science. A.P. Levich ed. Ch. 1. Singapore: World Scientific, 1995. P. 26–45.
19. Аристов В. В. Взаимоотношение физики и математики согласно реляционно-статистическому подходу // Метафизика. 2018. № 4 (30). С. 49–60.
20. Lawrence J. K., Szamosi G. Statistical physics, particle masses and the cosmological coincidences // Nature. 1974. Vol. 252. P. 538–539.
21. Hughes V. W., Robinson H. G., Beltran-Lopez, V. Upper limit for the anisotropy of inertial mass from nuclear resonance experiments // Phys. Rev. Lett. 1960. Vol. 4. P. 342–344.
22. Drever R. W. P. A search for anisotropy of inertial mass using a free precession technique // Philos. Mag. 1961. Vol. 6. P. 683–687.
23. Schlamminger S., Choi K.-Y., Wagner T. A., Gundlach J. H., Adelberger E. G. Test of the Equivalence Principle Using a Rotating Torsion Balance // Phys. Rev. Lett. 2008. Vol. 100. P. 041101.
24. Ohanian H. C., Ruffini R. Gravitation and Spacetime. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
25. Лозв М. Теория вероятностей. М.: Изд. иностр. лит., 1962.
26. Барашенков В. С. Общая теория относительности и микромир // Эйнштейн и философские проблемы физики XX века. М.: Наука, 1979. С. 385–386.
27. Марков М. А. О природе материи. М.: Наука, 1976.
28. Окунь Л. Б. Фундаментальные константы физики // Успехи физических наук. 1991. Т. 161, № 9. С. 177–191.
29. Аристов В. В. Дискретное и континуальное: переключки поэзии и науки в культурном контексте // Вопросы философии. 2016. № 10. С. 109–120.

30. Chew G. F. "Bootstrap": a scientific idea? // Science. 1968. Vol. 161, no. 3843. P. 762–763.
31. Ferreira L. et al. Panic! At the Disks: First Rest-frame Optical Observations of Galaxy Structure at $z > 3$ with JWST in the SMACS 0723 Field // arXiv:2207.09428v3 [astro-ph. GA] 31 Aug 2022.

RELATIONAL SPACE AND TIME: METAPHYSICAL FOUNDATIONS AND POSSIBILITIES OF EXPERIMENTS

V.V. Aristov

*Federal Research Center "Computer Science and Control"
of the Russian Academy of Sciences
2 build., 44 Vavilova St, Moscow, 119333, Russian Federation*

Abstract. Questions of a general philosophical, metaphysical nature about the properties of space and time inevitably intersect with their physical interpretation, including in hypothetical experiments. In this paper, relational ideas about the limiting philosophical categories are studied, which make it possible to concretize the ways of specifying space and time. This approach is compared with Leibniz's concept. The development of relational theoretical propositions leads to predictions of new effects and a discussion of their possible experimental verifications. It is concluded that the foundations and future limits of the theory can, in a certain sense, be reconciled.

Keywords: relational space and time, Leibniz's concept, metaphysical foundations