

# ИДЕИ МАХА В ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ

## РЕЛЯЦИОННАЯ КОНЦЕПЦИЯ ЛЕЙБНИЦА–МАХА

Ю.С. Владимиров

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,  
Институт гравитации и космологии РУДН*

Сформулирована и обоснована реляционная концепция Лейбница–Маха для построения геометрии и физики, состоящая из трех неразрывно связанных аспектов: 1) реляционной трактовки природы пространства-времени, 2) описания физических взаимодействий на базе концепции дальнего действия и 3) обусловленности локальных свойств объектов влияниями со стороны всего окружающего мира (принцип Маха). Указано, что физическая теория с такими свойствами строится на базе математического аппарата бинарных систем комплексных отношений минимальных рангов. Перечислены главные результаты, полученные в рамках этой теории.

**Ключевые слова:** реляционная концепция, пространство-время, концепция дальнего действия, принцип Маха, электромагнитное излучение, теория бинарных систем комплексных отношений.

### Введение

Обращение к взглядам и научному наследию великих мыслителей Готфрида Вильгельма Лейбница (1646–1716) и Эрнста Маха (1938–1916) чрезвычайно важно в наше время, поскольку как в периоды их деятельности, так и в настоящее время происходит активный процесс пересмотра ключевых положений фундаментальной физики.

Лейбниц внес большой вклад в формирование естественнонаучной картины мира в период существенного пересмотра взглядов Р. Декарта (1596–1650), развития идей Г. Галилея (1564–1642) и создания классической механики И. Ньютоном (1643–1727). Особенно важно подчеркнуть важное значение дискуссии Лейбница с Ньютоном и его сторонниками о природе пространства, времени, о характере физических взаимодействий [1]. В этих

дискуссиях фактически были заложены основы реляционной концепции (парадигмы) в естествознании, для принятия которой в физике тогда еще не созрели необходимые условия.



Готфрид Вильгельм Лейбниц



Эрнст Мах

Идеи Лейбница спустя полтора столетия были возрождены в трудах представителей немецкой физической школы и особое развитие получили в трудах Эрнста Маха, который произвел глубокий критический анализ основных положений классической физики Галилея–Ньютона. Этот анализ не потерял своей актуальности и в наши дни, поскольку многие понятия классической физики XIX века остаются до сих пор незыблемыми, а ряд высказанных им идей еще не нашел своего воплощения в современной физике.

### **Критика Лейбницем и Махом понятий классической физики и геометрии**

Г. Лейбниц в своей деятельности критически относился к общепринятым в его время положениям и аксиомам геометрии, а также к понятиям, используемым для описания физических явлений. Он писал: «Я давно уже заявлял, что было бы важно доказать все наши вторичные аксиомы, которыми обычно пользуются, сведя их к *первичным*, или непосредственным и недоказуемым аксиомам, представляющим то, что я назвал *...тождественными* положениями... Я убежден, что для усовершенствования наук даже необходимо доказывать некоторые предложения, называемые аксиомами» (цит. по [2. С. 265]).

Почти через два столетия Э. Мах критиковал главным образом те же положения классической физики Галилея–Ньютона, что и Лейбниц. Напомним, что в ньютоновой классической физике ключевыми категориями являются [3] абсолютное пространство (и время), погруженные в пространство материальные объекты и силы, описываемые в терминах полей переносчиков взаимодействий.

Названные категории имеют метафизический характер, поскольку отражают редукционистский подход к физическому мирозданию, когда этим категориям придается первичный, онтологический смысл, а физическая реальность мыслится как составленная из этих сущностей. Такую метафизическую парадигму следует назвать триалистической – по числу трех ключевых категорий.

Для перехода к новым концепциям XX века необходимо было показать условный, преходящий характер традиционно используемых понятий и категорий. Решению этой задачи была посвящена книга Э. Маха «Механика (Историко-критический очерк ее развития)». В ней Мах писал: «Именно простейшие с виду принципы механики очень сложны; они основаны на незавершенных и даже недоступных полному завершению данных опыта; практически они, правда, достаточно проверены для того, чтобы, принимая во внимание достаточную устойчивость окружающей нас среды, служить основой для математической дедукции, но сами они вовсе не могут рассматриваться как математические истины, а они должны рассматриваться, напротив того, как принципы, не только способные поддаваться непрерывному контролю опыта, но даже нуждаться в нем» [4. С. 201].

В другом месте его книги можно найти такие слова: «Средствам мышления физики, понятиям массы, силы, атома, вся задача которых заключается только в том, чтобы побудить в нашем представлении экономно упорядоченный опыт, большинством естествоиспытателей приписывается реальность, выходящая за пределы мышления. Более того, полагают, что эти силы и массы представляют то настоящее, что подлежит исследованию, и если бы они стали известны, все остальное получилось бы само собою из равновесия и движения этих масс. <...> Мы не должны считать *основами* действительного мира те интеллектуальные вспомогательные средства, которыми мы пользуемся для *постановки* мира на сцене нашего мышления» [4. С. 432].

На важность этих предостережений Э. Маха обращал внимание А. Эйнштейн в статье «Эрнст Мах», написанной по случаю его кончины: «Понятия, которые оказываются полезными при упорядочении вещей, легко завоевывают у нас такой авторитет, что мы забываем об их земном происхождении и воспринимаем их как нечто неизменно данное. В этом случае их называют “логически необходимыми”, “априорно данными” и т.п. Подобные заблуждения часто надолго преграждают путь научному прогрессу» [5. С. 28].

Позиции, отстаиваемые Махом, сыграли важную роль как при создании теории относительности (специальной и общей), так и при создании квантовой теории. Что касается теории относительности, то этот факт отмечался самим Эйнштейном, который писал: «Мах ясно понимал слабые стороны классической механики и был недалек от того, чтобы прийти к общей теории относительности. И это за полвека до ее создания! Весьма вероятно, что Мах сумел бы создать общую теорию относительности, если бы в то время, когда еще был молод духом, физиков волновал вопрос о том, как следует понимать скорость света» [5. С. 29].

Влияние Маха сказалось и при создании квантовой механики. Приведем характерное его высказывание: «Каждое новое открытие вскрывает проблемы в нашем понимании, обнаруживает незамеченный до тех пор остаток зависимостей. Таким образом и тот, который в теории является крайним детерминистом, на практике все же бывает вынужден оставаться индетерминистом и именно в том случае, если он не хочет отделаться умозрениями от важнейших открытий» [4. С. 287].

Напомним, что открытие общей теории относительности ознаменовало создание новой для того времени геометрической парадигмы, а с построением квантовой теории были заложены основы доминировавшей на протяжении всего XX столетия теоретико-полевой парадигмы. Сам же Мах мыслил в рамках третьей метафизической парадигмы – реляционной, основы которой были заложены в трудах Г. Лейбница Р.И. Бошковича, Д. Беркли и некоторых других предшественников. В основе этой парадигмы лежит отрицание самостоятельного характера пространства-времени, замены его отношениями между материальными объектами и описание взаимодействий в рамках концепции дальнего действия. Эти взгляды разделялись ведущими представителями немецкой физической научной школы В. Вебером, Л. Лоренцем, Францем и Карлом Нейман, Г.Т. Фехнером, К.Ф. Целльнером и некоторыми другими (см. [6]). Эта школа была в середине XIX века ведущей в мировых исследованиях по физике. К ней примыкали и известные математики Б. Риман и К. Гаусс. Напомним, что среди неопубликованных трудов Гаусса, кроме работ по неевклидовой геометрии, были и любопытные соображения по концепции дальнего действия. Представителями немецкой физической школы было высказано немало соображений, значительно опередивших свое время и предвосхитивших многое из того, что потом было получено значительно позже. Э. Мах получил был воспитан в рамках этой школы и до конца своих дней отстаивал ее реляционные взгляды.

Однако во второй половине XIX века после работ М. Фарадея и Д.К. Максвелла на первое место выдвинулась английская физическая школа, опирающаяся на теорию поля, то есть на триалистическую метафизическую парадигму, где самостоятельный характер имеет категория полей переносчиков взаимодействий, описываемых дифференциальными уравнениями. Так в физике произошла смена доминирующих парадигм.

Реляционные воззрения, которых придерживались немецкие физики, оказались преждевременными. Для их утверждения тогда не хватило данных о существовании универсальной скорости передачи взаимодействий (света), доказательства наличия элементарных носителей электрического заряда (электронов), атомарной структуры вещества, уточнения ряда формул электродинамики и некоторых других данных, полученных физиками позднее. Кроме того, дифференциальные уравнения давали ряд вычислительных преимуществ перед громоздкими рассуждениями в рамках концепции дальнего действия.

В итоге многие идеи и результаты немецкой физической школы оказались забытыми или вновь открытыми в рамках теории поля. Однако Эрнст Мах, воспитанный в период расцвета концепции дальнего действия, пронес ее идеологию через всю свою жизнь, и впоследствии именно через его труды научный мир смог воспринять идеи реляционного подхода.

Реляционные идеи оказались особенно востребованными в самом начале XX века в период создания специальной теории относительности, а затем послужили важным стимулом для Эйнштейна при создании общей теории относительности. Он то и предложил возвести в ранг принципа Маха необходимую ему часть реляционных взглядов Маха. Однако следует подчеркнуть, что возведенное им в ранг принципа составляло лишь часть идей, отстаиваемых Махом. Нам представляется, что в настоящее время следует четко сформулировать суть реляционной концепции (парадигмы, подхода) в виде трех неразрывно связанных друг с другом составляющих (аспектов):

- 1) реляционного подхода к природе пространства-времени;
- 2) описания физических взаимодействий на основе концепции дальнего действия (взамен концепции ближнего действия);
- 3) признания обусловленности локальных свойств материальных объектов глобальными свойствами всего окружающего мира.

Эйнштейн же возвел в ранг принципа Маха лишь третью составляющую, причем в усеченном виде, имея в виду обоснование лишь инерции физических тел.

Обсудим эти три составные части реляционной концепции более подробно, поскольку все они будут играть чрезвычайно важную роль при изложении всего дальнейшего материала.

### **Лейбниц и Мах о реляционной природе пространства и времени**

Идеи реляционного подхода к природе пространства и времени в его современном понимании были впервые четко сформулированы Г. Лейбницем (1646–1716), затем развивались в работах Д. Беркли (1685–1753), Р.И. Бошковича (1711–1787), названных выше представителей немецкой физической школы, Э. Маха (1838–1916) и ряда других мыслителей. Согласно реляционному подходу, пространство и время не являются

самостоятельными сущностями, как это постулировалось И. Ньютоном, а представляют собой абстракцию от отношений между материальными объектами и событиями с их участием.

Так, Лейбниц в письмах Кларку писал: «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.

Для опровержения мнения тех, которые считают пространство субстанцией или по крайней мере какой-то абсолютной сущностью, у меня имеется несколько доказательств...» [1. С. 44]. О реляционной природе пространства и времени Лейбниц также писал в своей «Монадологии» [7].

Э. Мах придерживался тех же реляционных взглядов на сущность пространства и времени и резко отрицательно относился к идее абсолютных пространства и времени. Так, он писал: «Об абсолютном пространстве и абсолютном времени никто ничего сказать не может; это чисто абстрактные вещи, которые на опыте обнаружены быть не могут. Все наши основные принципы механики представляют собою, как это было уже подробно показано, данные опыта об относительных положениях и движениях тел» [4. С. 184]. Взамен ньютоновой трактовки Мах предлагал следующее, реляционное понимание природы пространства и времени: «...во временной зависимости выражаются простейшие непосредственные физические отношения. <...> В пространственных отношениях находит свое выражение посредственная физическая зависимость» [8. С. 417].

В этом и ряде других высказываний Лейбница и Маха содержится ключевое для всей реляционной парадигмы понятие *отношения*. В геометрии отношение это не что иное, как расстояние (метрика), в теории относительности это интервал, в физике – лагранжиан взаимодействия между двумя объектами. В современном изложении геометрии обычно исходят из координат, а затем из них строятся расстояния, однако возможен противоположный ход рассуждений, когда исходным понятием является отношение, то есть расстояния, из которых можно выразить и координаты. Примечательно, упоминание Э. Маха о таком подходе к геометрии: «Интересную попытку обосновать евклидову и неевклидову геометрию на одном понятии расстояния мы находим у Ж. Де Тилли (1880)» [8. С. 363]. Значительно позднее на этой же основе была написана книга К.М. Блюментала «Теория и применение геометрии расстояний» [9].

В связи с этим напомним характерное высказывание А. Эйнштейна о Махе: «Мах в девятнадцатом столетии был единственным, кто серьезно думал об исключении понятия пространства, которое он стремился заменить

представлением о всей сумме расстояний между всеми материальными точками» [10. С. 749].

Взгляды на суть пространства и времени, высказывавшиеся, с одной стороны, Г. Лейбницем, Э. Махом и, с другой стороны, Демокритом и И. Ньютоном, отражают два подхода к их пониманию: **реляционный и субстанциальный**. Желая это признавать или нет, подавляющее большинство современных физиков в своей деятельности придерживается субстанциального подхода к природе пространства и времени.

### Концепция дальнего действия

Выбор одного из двух названных подходов к природе пространства-времени касается не только геометрии, но и самым непосредственным образом сказывается на способе построения физической теории. Аналогично двум подходам к природе пространства-времени в физике представлены две альтернативные концепции описания взаимодействий: **близкодействия и дальнего действия**. В концепции близкодействия взаимодействие между объектами осуществляется либо при непосредственном контакте, либо путем испускания одним телом сигнала, который последовательно передается от одной точки пространства-времени к другой, бесконечно ей близкой, до достижения второго тела, вступающего во взаимодействие с первым телом. В концепции же дальнего действия ничего не распространяется между телами, а они взаимодействуют друг с другом непосредственно на расстоянии. Легко понять, что субстанциальный подход к сущности пространства-времени лежит в основе доминирующих ныне теоретико-полевых представлений о мире, тогда как реляционный – соответствует концепции дальнего действия.

Дискуссия по выбору одной из этих концепций со времен И. Ньютона и Г. Лейбница (и даже раньше) параллельно с обсуждением двух возможных подходов к природе пространства-времени.

Так, Г. Лейбниц по этому поводу писал: «Я говорил о том, что притяжение в собственном смысле слова или по образцу схоластических качеств было бы действием на расстоянии, без посредника. Теперь мне отвечают, притяжение без посредника было бы противоречием. Отлично, но как тогда истолковать то, что Солнце должно притягивать земной шар через пустое пространство? Может быть, посредником служит Бог? Если бы это было так, то это было бы чудом, ибо превзошло бы силы созданных вещей. Или, может быть, это какие-то нематериальные субстанции, какие-то духовные излучения, какая-то акциденция без субстанции, нечто преднамеренно созданное или, я не знаю что еще, что должно называть посредниками? Это все вещи, которые можно измыслить довольно много, но нельзя достаточно обосновать» [1. С. 499].

Аналогично высказывался и Э. Мах, поддержавший высказывания Ньютона в духе концепции дальнего действия. Он писал: «Мысль Ньютона о

силах, действующих на расстоянии, была великим умственным событием, которое позволило в течение одного столетия построить однородную математическую физику. В этой мысли выразилась некоторая духовная дальнорукость. Он видел факт ускорений на расстоянии и признал его важное значение; посредники, передающие эти ускорения, казались ему неясными, и он до времени оставил их без внимания» [8. С. 420]. Заметим, что Ньютон не был строго последовательным в этих взглядах.

### **«Принцип Маха» (Обусловленность локальных свойств объектов глобальными факторами окружающего мира)**

Представителями немецкой физической школы середины XIX века высказывалась мысль о зависимости взаимодействия двух тел от наличия окружающей материи. Для описания этой зависимости в работах В.Э. Вебера (1804–1891) использовалось понятие «каталитической силы», введенное Й.Я. Берцелиусом (1779–1848).

Э. Маху, воспитанному в рамках этой школы, физический мир представлялся единым неразрывным целым, так что свойства его отдельных частей, обычно понимаемые как локальные (присущие отдельно взятым системам), на самом деле обусловлены распределением всей материи мира, или глобальными свойствами Вселенной. Мах писал: «Дело именно в том, что природа не начинает с элементов, как мы вынуждены начинать. Для нас во всяком случае счастье то, что мы в состоянии временами отвлечь наш взор от огромного целого и сосредоточиться на отдельных частях его. Но мы не должны упускать из виду, что необходимо впоследствии дополнить и исправить дальнейшими исследованиями то, что мы временно оставили без внимания» [4. С. 199].

Как уже отмечалось, идеи Маха (немецкой физической школы XIX века) были возведены в ранг принципа А. Эйнштейном в 1919 году в связи с попытками на их основе обосновать понятие массы. Он писал: «Принцип Маха: G-поле (метрическое поле. – Ю.В.) полностью определено массами тел. Масса и энергия, согласно следствиям специальной теории относительности, представляют собой одно и то же; формально энергия описывается симметричным тензором энергии: это означает, что G-поле обуславливается и определяется тензором энергии материи» [11. С. 613]. В примечании Эйнштейн разъясняет: «Название “принцип Маха” выбрано потому, что этот принцип является обобщением требования Маха, что инерция должна сводиться к взаимодействию тел».

Создавая общую теорию относительности, Эйнштейн был уверен, что реализует идеи Маха, однако, когда она была создана, обнаружил, что теория оказалась основанной на иных принципах, и он изменил свое восторженное отношение к идеям Маха, написав: «По мнению Маха, в действительно рациональной теории инертность должна, подобно другим ньютоновским силам, происходить от взаимодействия масс. Это мнение я в

принципе считал правильным. Оно неявным образом предполагает, однако, что теория, на которой все основано, должна принадлежать тому же общему типу, как и ньютонова механика: основными понятиями в ней должны служить массы и взаимодействия между ними. Между тем не трудно видеть, что такая попытка не вяжется с духом теории поля» [12. С. 268]. Действительно, принцип Маха (в понимании Эйнштейна) присущ лишь реляционной теории, тогда как общая теория относительности оказалась построенной в рамках иной, геометрической парадигмы.

Уже в середине XX века Ф. Хойл и Дж.В. Нарликар в духе принципа Маха писали: «Во многих проблемах возможно “отделить” эффект Вселенной в том смысле, что влияние Вселенной остается эффективно постоянным внутри рассматриваемого пространственно-временного объема, к которому относятся эти проблемы. <...> Если читатель допустит на мгновение, что такая точка зрения верна, то ему станет ясно, что, вероятно, более легки именно те проблемы, в которых Вселенная проявляется в виде постоянного влияния окружающей среды, нежели те, в которых это влияние перемененно. Самыми эффективными преимуществами обладают такие проблемы, где постоянное влияние Вселенной может быть заменено эмпирически найденными значениями, как, например, значения масс. Обычно практика благоразумного физика концентрируется на тех проблемах, где может быть достигнут прогресс, поэтому возникает положение, при котором все решенные проблемы представляют случаи такой развязки от влияния Вселенной» [13. С. 2].

Подобная позиция распространялась Махом буквально на все обсуждаемые в его время физические понятия и явления. Видимо, отсюда и возникло множество пониманий принципа Маха. Нам представляется, что в самом широком смысле под принципом Маха следует понимать обусловленность локальных свойств объектов закономерностями и распределением всей материи мира, то есть глобальными свойствами Вселенной. Это, в частности, относится к попыткам объяснения значений масс частиц и к обоснованию ряда других свойств материи.

### **Развитие реляционной парадигмы в XX веке**

В XX веке концепция дальнего действия возродилась в трудах по теории прямого межчастичного взаимодействия А.Д. Фоккера, К. Шварцшильда, Г. Тетроде, Я.И. Френкеля, Р. Фейнмана, Ф. Хойла и ряда других авторов. Эти исследования в XX веке составляли лишь побочную ветвь в теоретической физике. Однако идеи дальнего действия не раз помогали получать блестящие результаты, среди которых создание Эйнштейном общей теории относительности.

На рубеже 1920–1930-х годов концепция дальнего действия широко обсуждалась в нашей стране. Так, в Ленинградском политехническом институте, директором которого был академик А.Ф. Иоффе, читали курс

электродинамики два члена-корреспондента АН СССР: Я.И. Френкель и В.Ф. Миткевич. Френкель читал электродинамику в рамках концепции дальнего действия, а Миткевич – в рамках концепции ближнего действия. У студентов, да и у руководства института возникло недоумение: какая же из двух концепций является истинной? Для разрешения этого вопроса дирекцией был организован ряд диспутов с привлечением известных ученых страны. В диспутах участвовал также П. Эренфест.

Я.И. Френкель яростно отстаивал концепцию дальнего действия, заявляя: «Позвольте прежде всего доказать вам, что физическим абсурдом является именно представление о ближнем действии, а физической реальностью, физически обоснованным является представление о дальнем действии. Как вам не трудно представить себе это дальнее действие, да еще запаздывающее, все же вам необходимо сделать соответствующее усилие для того, чтобы освободиться от тех привычек, которые сложились у нас в эпоху, когда наши познания были недостаточны» [14. С. 73].

Участники диспутов долго спорили, приводя ряд доводов в пользу как концепции дальнего действия, так и концепции ближнего действия. В конце концов участниками был выработан критерий, кого относить к сторонникам той или иной концепции. Профессор В.Ф. Миткевич сформулировал его следующим образом: «Представим себе электрический заряд  $q_1$ , электрический заряд  $q_2$  и некоторую замкнутую поверхность  $S$ , окружающую со всех сторон заряд  $q_1$ . Вопрос заключается в следующем: может ли электрический заряд  $q_1$  взаимодействовать с зарядом  $q_2$  без того, чтобы какой-либо физический агент проникал сквозь замкнутую поверхность  $S$ ?» [14. С. 108]. Миткевич и ряд его сторонников отвечали «Нет», тогда как Френкель и его сторонники отвечали «Да», поскольку между взаимодействующими зарядами ничего нет, а сфера является лишь мыслимой.

Участники диспутов так и не пришли к окончательному выбору одной из двух концепций. А.И. Иоффе сделал вывод: «Каждая точка зрения остается на некоторое время», а присутствовавший на диспутах П.С. Эренфест заявил: «Никогда в Европе, никогда в Америке не могло бы случиться, чтобы 4 тысячи человеко-часов так усердно потратили бы на такой сложный вопрос, как это случилось здесь, и уже это очень притягивает меня к вам» [14. С. 100].

Следует заметить, что в дальнейшем под напором успехов в развитии квантовой теории поля и ряда других обстоятельств Френкель стал отступать, признав понятие поля, правда, в своеобразной форме [15].

Однако были тогда и резко отрицательные высказывания о концепции дальнего действия. Так, один из корифеев отечественной теоретической физики 1920–1930-х годов О.Д. Хвольсон в своем некогда популярном «Курсе физики» даже посвятил специальный параграф критике концепции дальнего действия, где писал: «Термином “action in distans” то есть “действие на расстоянии” обозначается одно из наиболее вредных учений, когда-либо

господствовавших в физике и тормозивших ее развитие» [16. С. 181–183]. А в завершении этого параграфа призывал «юных читателей не вдаваться в эту область фантазий» (имелось в виду учение о дальнодействии).

В XX веке существенный вклад в развитие реляционного подхода к физическому мирозданию был сделан Р. Фейнманом. В его работах следует выделить два достижения в этой области физики: во-первых, это развитие классической теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия, в рамках которой совместно с Дж. Уилером [17] было показано, что учет принципа Маха позволяет исключить из теории опережающие взаимодействия и тем самым теоретически обосновать принцип причинности.

Вторым важным достижением является построение фейнмановского варианта квантования на основе суммирования по историям частиц, причем этот результат был получен именно благодаря желанию распространить концепцию дальнодействия с классической физики на квантовую теорию. Как он писал: «Теорию электромагнетизма, развитую Уилером и Фейнманом, можно сформулировать в виде принципа наименьшего действия, содержащего только координаты частиц. Именно попытка проквантовать эту теорию, не обращаясь к представлению о поле, и привела к изложенной здесь формулировке квантовой механики» [18. С. 202]. Как отмечал сам Фейнман в своей Нобелевской лекции, его знаменитая диаграммная техника была сформулирована в рамках идеологии концепции дальнодействия.

Однако так получилось, что в дальнейших работах Фейнман стал проявлять осторожность и даже, можно сказать, стал выражать разочарование концепцией дальнодействия. Об этом свидетельствуют заключительные слова его Нобелевской лекции: «А что же стало со старой теорией, в которую я влюбился еще юношей? Она теперь стала почтенной старой дамой, почти совсем потерявшей былую привлекательность. Сердце юноши уж не забьется учащенно при виде ее. Но о ней можно сказать самое лучшее, что можно сказать о пожилой женщине: что она хорошая мать и у нее очень хорошие дети. И я благодарен Шведской Академии наук за высокую оценку одного из них» [18. С. 231].

Но на этом история с концепцией дальнодействия в XX веке не закончилась. В 1970-х годах в рамках концепции дальнодействия сначала была построена приближенная (по константе гравитационного взаимодействия  $G$ ) теория прямого межчастичного гравитационного взаимодействия, а затем уже в 1980-х годах в наших работах с А.Ю. Турыгиным [19] было показано, что в рамках реляционной метафизической концепции можно построить полную теорию гравитационных взаимодействий, совпадающую с выводами эйнштейновской общей теории относительности в любом приближении по  $G$ . Для этого необходимо не ограничиваться парными взаимодействиями между частицами, а учесть тройные, четвертные и т.д. взаимодействия.

Отсюда следует, что Эйнштейн напрасно поторопился отречься от идей Маха и концепции дальнего действия: построенная им общая теория относительности вполне может быть переформулирована и в духе идей Маха, вдохновивших его на ее создание.

### **Что препятствовало развитию реляционной парадигмы?**

Возникает естественный вопрос о причинах подобных откатов приверженцев дальнего действия от своих взглядов. На это имеется несколько причин как субъективного, так и объективного характера.

К основной субъективной причине следует отнести укоренившуюся привычку мыслить в рамках концепции ближнего действия, когда воздействие от одного объекта передается к другому через все промежуточные точки между ними.

Вместе с тем имелся и ряд объективных причин, препятствовавших развитию реляционного подхода. Назовем главные из них.

Первая из них состояла в том, что в исследованиях теорий прямого межчастичного взаимодействия фактически игнорировалась первая составляющая реляционной концепции – реляционная трактовка природы пространства-времени. В работах упомянутых выше сторонников концепции дальнего действия пространство-время рассматривалось как априорно заданное, фактически имеющее субстанциальный характер. Это проявилось у Фейнмана в его методе квантования посредством суммирования траекторий на фоне априорно заданного классического пространства-времени. Френкель также предполагал пространство-время заданным и пытался обосновать концепцию дальнего действия на его фоне. При этом позиции этих авторов выглядели недостаточно убедительными для их оппонентов. Но если бы они исходили из реляционного понимания пространства-времени, то использование концепции дальнего действия выглядело бы неизбежным. Правда, тогда дискуссия переместилась бы на выбор одного из двух подходов к природе пространства-времени: реляционного или субстанциального.

Вторым существенным препятствием для развития реляционной парадигмы явилось отсутствие подходящего математического аппарата для развития реляционного подхода, который мог бы конкурировать с дифференциальным и интегральным исчислением, самым существенным образом используемым в общепринятой концепции теории поля.

В конце 60-х годов XX века основы такого математического аппарата были заложены в работах Ю.И. Кулакова и Г.Г. Михайличенко в виде математической части так называемой теории физических структур [20], однако тогда, в период успехов исследований в области квантовой теории поля, на него не обратили должного внимания. Лишь академик И.Е. Тамм на закате своих дней оценил новый подход к мирозданию. Это направление исследований также поддержал академик Александров.

Созданный Ю.И. Кулаковым с учениками (главным образом с Г.Г. Михайличенко) [20–22] математический аппарат по своей сути представляет собой универсальную (алгебраическую) теорию метрических отношений между объектами (элементами) произвольной природы. Следует отметить, что теория физических структур создавалась ее автором не в целях развития реляционного подхода, а в связи с попытками найти первоосновы физики и математики.

К третьему препятствию следует отнести вопрос: А зачем это нужно? Зачем развивать реляционную парадигму, когда полно дел в рамках уже освоенных теоретико-полевой и геометрической парадигм? Однако накопившиеся к концу XX века трудности в фундаментальной теоретической физике заставили поставить вопрос о крушении классических пространственно-временных представлений в физике микромира и взамен искать иную систему представлений, управляющую физикой микромира.

А эта задача неизбежно привела к постановке еще более глубокой проблемы – необходимости вывода общепринятых классических пространственно-временных представлений из системы более элементарных представлений в физике микромира. Анализ этой проблемы показал, что решение этой задачи вряд ли возможно в рамках теоретико-полевой или геометрической парадигм.

В связи с этим напомним высказывание Б. Грина из его книги «Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории»: «Нахождение корректного математического аппарата для формулировки теории струн без обращения к изначальным понятиям пространства и времени является одной из наиболее важных задач, с которыми сталкиваются теоретики. Разобравшись в том, как возникает пространство и время, мы могли бы сделать огромный шаг к ответу на ключевой вопрос, какая геометрическая структура возникает на самом деле» [23. С. 244].

И, наконец, к четвертому препятствию следует отнести отсутствие понимания: какой вид физических взаимодействий является ответственным за реализацию принципа Маха, особенно его третьей составляющей.

### Заключение

Как писал Чью, главная причина доминирования в течение долгих лет классических пространственно-временных представлений в физике микромира состояла именно в «неспособности физиков-теоретиков в течение многих лет представить “фундаментальные” законы взаимодействий на каком-либо ином языке, кроме пространственно-временного» [24]. Иную возможность открывает построение физической теории на базе реляционной концепции (парадигмы) Лейбница–Маха. Как показано в наших работах, последовательное следование этой концепции приводит к следующей цепочке утверждений:

1. Реляционный подход к природе пространства-времени означает его замену на совокупность отношений между материальными объектами.

2. Если априорно заданного непрерывного пространства-времени нет, то возможно описание физических взаимодействий между объектами лишь на основе концепции дальнодействия.

3. Если априорно заданного непрерывного пространства-времени нет, то испущенное (электромагнитное) излучение до его поглощения может «находиться» не иначе как в отношениях между физическими объектами.

4. Поскольку во Вселенной всегда имеется гигантское количество испущенного («морем»), но еще не поглощенного излучения, «находящегося» в отношениях между объектами (его возможными поглотителями), то естественно допустить, что именно его вклады порождают понятия классического пространства-времени: расстояния, промежутки времени, интервалы и т. д.

5. Образование пространственно-временных отношений в мире обусловлено именно вероятностным характером процессов излучения и поглощения, что на привычном языке описывается его волновыми свойствами. Если бы явления имели строго детерминистический характер, то пространственно-временная структура была бы невозможной.

6. Поскольку отношения между объектами обусловлены «морем» излучения, испущенного окружающим миром, а поведение объектов определяется их взаимными отношениями, то отсюда с неизбежностью следует, что и характеристики их поведения (в частности массы) определяются всем окружающим миром. А это и есть содержание принципа Маха.

В наших работах было показано, что физическую теорию, реализующую эту систему утверждений, можно построить с помощью математического аппарата бинарных систем комплексных отношений (БСКО) [3; 25; 26], являющегося обобщением теории физических структур Кулакова–Михайличенко. Было показано, что, используя БСКО минимальных рангов (2,2), (3,3) и (4,4), можно приступить к существенному изменению оснований физики и геометрии, в частности, достичь более глубокого понимания свойств микромира и фундаментальных законов взаимодействий, не обращаясь к априорно заданному пространственно-временному континууму [26].

В частности, на их основе можно получить ответы на ряд принципиально важных вопросов о свойствах геометрии. Назовем главные из них: обоснование размерности четыре и сигнатуры (+ – – –) физического пространства-времени, выявление истоков появления метрических свойств (длин и интервалов) пространства и времени, обоснование квадратичного характера мероопределения. Напомним, что над решением этих проблем бились многие мыслители XIX и XX веков: Э. Мах, А. Эйнштейн, А. Эддингтон и др.

Более того, было показано, что реляционный подход на базе математического аппарата БСКО минимальных рангов позволяет адекватно описать ключевые закономерности квантовой теории. Тем самым в рамках реляционной концепции Лейбница–Маха закладываются основы реляционно-статистической интерпретации квантовой механики. В частности, показано, почему элементарные частицы описываются спинорами, а не более привычными, с точки зрения классических представлений, скалярами или векторами, продемонстрировано, как в рамках реляционно-статистического подхода можно построить теорию атомов, не обращаясь к понятиям классического пространства-времени и к уравнениям Шредингера, Клейна–Фока или Дирака, обычно вводимым на основе понятий пространства-времени, получен ряд других принципиально важных результатов.

При переходе от реляционно-статистической теории микромира к классической геометрии и физике взаимодействий произведено обобщение уже давно развиваемой рядом авторов теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера–Фейнмана. В частности, показано, что гравитационные взаимодействия в такой теории возникают в виде своеобразного (квадратичного) проявления более элементарных электромагнитных взаимодействий.

Наконец, можно показать, что в рамках реляционного подхода открывается новый путь осмысления ряда космологических проблем, в частности, дано реляционное обоснование космологического красного смещения.

Можно указать и другие задачи, решения которых в рамках реляционно-статистического подхода существенно отличны от общепринятых представлений.

Особо подчеркнем, что на данном этапе развития реляционно-статистического подхода главная задача состоит в выяснении механизма образования классических пространственно-временных отношений. Только решив эту проблему, можно будет поставить следующую не менее глобальную и практически важную задачу: можно ли, и если можно, то как управлять пространственно-временными отношениями?

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Лейбниц Г.В.* Письма к Кларку // Лейбниц. Сочинения: в 4 т. – Т. 1. – М.: Мысль, 1982. – С. 430–528.
2. *Гайденко П.П.* История новоевропейской философии в ее связи с наукой. – М.: Изд-во «Университетская книга», 2000.
3. *Владимиров Ю.С.* Метафизика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
4. *Мах Э.* Механика. Историко-критический очерк ее развития. – Ижевск: Ижевская республиканская типография, 2000.
5. *Эйнштейн А.* Эрнст Мах // Собр. науч. трудов. – Т. 4. – М.: Наука, 1967. – С. 27–32.

6. Булюбаиш Б.В. Электродинамика дальнего действия // Сб. Физика XIX-XX вв. в общенаучном и социокультурном аспектах (Физика XIX в.). – М.: Наука, 1995. – С. 221–250.
7. Лейбниц Г.В. Монадология // Лейбниц. Соч.: в 4 т. – Т. 1. – М.: Мысль, 1982. – С. 413–429.
8. Мах Э. Познание и заблуждение. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003.
9. Blumenthal L.M. Theory and application of distance geometry. – Oxford, 1953.
10. Эйнштейн А. Относительность и проблема пространства // Собр. науч. трудов. – Т. 2. – М.: Наука, 1966.
11. Эйнштейн А. Принципиальное содержание общей теории относительности // Собр. науч. трудов. – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 613–615.
12. Эйнштейн А. Автобиографические заметки // Собр. науч. трудов. – Т. 4. – М.: Наука, 1967. – С. 259–294.
13. Hoyle F., Narlikar J.V. Action at a distance in physics and cosmology. – San Francisco: W.N. Freeman and Comp., 1974.
14. Френкель Я.И. // Природа электрического тока (Беседы-диспут в Ленинградском политехническом институте). – М.-Л.: Изд-во Всесоюзного электротехнического общества, 1930.
15. Френкель Я.И. Принцип причинности и полевая теория материи // Вопросы теоретической физики. – СПб.: ПИЯФ, 1994. – С. 132–154.
16. Хвольсон О.Д. Физика и ее значение для человечества. – Берлин: Гос. изд-во РСФСР, 1923.
17. Wheeler J.A., Feynman R.P. Interaction with absorber as the mechanism of radiation // Rev. Mod. Phys. – 1945. – Vol. 17. – P. 157–181.
18. Фейнман Р. Нобелевская лекция «Разработка квантовой электродинамики в пространственно-временном аспекте» // Характер физических законов. – М.: Мир, 1968. – С. 193–231.
19. Владимиров Ю.С., Турыгин А.Ю. Теория прямого межчастичного взаимодействия. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
20. Кулаков Ю.И. (С дополнением Г.Г. Михайличенко). Элементы теории физических структур. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1968.
21. Кулаков Ю.И. Теория физических структур. – М., 2004.
22. Михайличенко Г.Г. Математические основы и результаты теории физических структур. – Горно-Алтайск: РИО Горно-Алтайского госуниверситета, 2012.
23. Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. – М.: Едиториал УРСС, 2004.
24. Chew G.F. The dubious role of the space-time continuum in microscopic physics // Science Progress. – 1963. – Vol. LI. – No. 204. – P. 529–539.
25. Владимиров Ю.С. Физика дальнего действия. Природа пространства-времени. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016.
26. Владимиров Ю.С. Реляционная концепция Лейбница–Маха и фундаментальная физика. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016.

## **LEIBNIZ/MACH'S RELATIONAL CONCEPTION**

**Yu.S. Vladimirov**

Formulated and substantiated is Leibniz/Mach's relational conception for constructing geometry and physics consisting of three indissolubly linked aspects: (1) relational interpretation of the nature of space-time; (2) description of physical interactions based on the long-range action concept; and (3) conditioning of the local properties of objects by influences from the entire surrounding world (Mach's principle). It is pointed out that a physical theory with such properties is built on the basis of the mathematical apparatus of binary systems of complex relations of minimal ranks. The main results obtained within the framework of this theory are listed.

**Key words:** relational conception, space-time, long-range action concept, Mach's principle, electromagnetic radiation, theory of binary systems of complex relations.