
РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРИНЦИПЕ МАХА

Ю.С. Владимиров, Д.А. Терещенко

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

Выделены и охарактеризованы семь основных этапов развития представлений о принципе Маха: 1) предварительные соображения Г. Лейбница и других мыслителей, 2) формулировка принципа Маха Эйнштейном при создании ОТО, 3) развитие теории мирового поглотителя Р.Фейнманом и Дж. Уилером, 4) работы Ф. Хойла и Дж. Нарликара по обоснованию масс принципом Маха, 5) развитие последовательной реляционной парадигмы на основе теории унарных систем вещественных отношений, 6) обобщение реляционной парадигмы на основе теории бинарных систем отношений, 7) построение реляционно-статистической картины мира в рамках бинарной предгеометрии.

Ключевые слова: принцип Маха, реляционный подход, концепция дальнего действия, мировой поглотитель, теория систем отношений, бинарная предгеометрия.

Введение

Под принципом Маха наиболее часто понимается его определение, данное Эйнштейном, – обусловленность сил инерции тел воздействием на них со стороны всей окружающей материи мира [1]. Однако в работах ряда авторов было продемонстрировано, что закономерности окружающего мира обуславливают и другие локальные свойства как классических систем, так и микросистем. В связи с этим в наших работах [2–4] было предложено более широкое определение принципа Маха: как принципа **обусловленности локальных свойств материальных образований закономерностями и распределением всей материи мира**. В этой работе будем придерживаться именно этого понимания принципа Маха.

Вопросы сущности и проявлений принципа Маха рассматривались на протяжении нескольких веков в работах многих авторов. Обращалось внимание на важность идеи обусловленности локальных свойств от всего окружающего мира. Многие авторы стремились построить конкретную физическую теорию, учитывающую это влияние, причем пытались это сделать в рамках как триалистической (ньютоновской) парадигмы, так и трех дуалистических метафизических парадигм, четко сформулированных уже в XX веке: теоретико-полевой (доминирующей), геометрической и реляционной.

Отметим, что часть реляционных идей Маха была возведена в ранг принципа Маха именно в рамках создания геометрической парадигмы. Долгое время внимание этому принципу уделялось в рамках исследований общей теории относительности и ее обобщений, однако все попытки реализо-

вать идею этого принципа в рамках геометрической парадигмы к успеху не привели.

В данной статье выделены и кратко охарактеризованы семь главных этапов развития представлений о сущности и проявлениях принципа Маха. При этом показано, что этот принцип соответствует идеям именно реляционной парадигмы.

1. Предварительные соображения в русле принципа Маха

К первому этапу отнесем предварительные высказывания об идее воздействия окружающего мира на свойства наблюдаемых систем. Здесь, прежде всего, следует назвать соображения на этот счет Г. Лейбница, Р.И. Бошковича, Э. Маха и ряда других мыслителей прошлого [3].

Так, Г. Лейбниц (1646–1716) в «Монадологии» писал: «Ибо так как все наполнено (что делает всю материю связною) и в наполненном пространстве всякое движение производит некоторое действие на удаленные тела по мере их отдаления. <...> И следовательно, всякое тело чувствует все, что совершается в универсуме, так что тот, кто видит, мог бы в каждом теле прочесть, что совершается повсюду, и даже то, что совершилось или еще совершится, замечая в настоящем то, что удалено по времени и месту: все дышит взаимным согласием, как говорил Гиппократ» [5].

Чуть позже в XVIII столетии близкие соображения высказывал Р.И. Бошкович (1711–1787). В XIX веке в виде понятия «каталитической силы» со стороны окружающего мира эту идею высказывал Й. Я. Берцелиус (1779–1848), затем на эту тему писали В. Э. Вебер (1804–1848), К.Ф. Целльнер (1834–1882) и другие представители немецкой физической школы. Так, Вебер, обсуждая проблемы описания взаимодействий, пришел к важному выводу: «...непосредственное взаимодействие двух электрических масс зависит не только от этих масс, но также от присутствия третьего тела» (цит. по: [6. С. 225]).

Уже на рубеже XIX и XX веков данную идею отстаивал Э. Мах (1838–1916) [7–9], воспитанный на взглядах немецкой физической школы середины XIX века. 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» [7]. Отметим, что в работах Маха можно найти не только качественные высказывания, но и некоторые предпосылки к количественному описанию выдвигаемых им идей.

2. Формулировка принципа Маха Эйнштейном

Ко второму этапу развития идеи о влиянии окружающего мира на локальные свойства объектов следует отнести период создания общей теории относительности в первые два десятилетия XX века. Отметим, что идеи Маха сыграли важную роль в создании А. Эйнштейном (1879–1955) общей теории относительности. Более того, сам термин «принцип Маха» был введен Эйнштейном. Так, в 1919 году Эйнштейн в своей статье «Принципиальное содержание общей теории относительности» писал: «Теория, как мне кажется сегодня, покоится на трех основных положениях, которые ни в какой степени не зависят друг от друга. Ниже они будут коротко сформулированы, а в дальнейшем освещены с некоторых сторон.

а) Принцип относительности: законы природы являются лишь высказываниями о пространственно-временных совпадениях; поэтому они находят свое естественное выражение в общековариантных уравнениях.

б) Принцип эквивалентности: инерция и тяжесть тождественны; отсюда и в результате специальной теории относительности неизбежно следует, что симметричный «фундаментальный тензор» определяет метрические свойства пространства, движение тел по инерции в нем, а также и действие гравитации. Описываемое фундаментальным тензором состояние пространства мы будем обозначать как «G-поле».

в) Принцип Маха: G-поле полностью определено массами тел» [1].

Ниже, в примечании, Эйнштейн поясняет третий принцип «Название “принцип Маха” выбрано потому, что этот принцип является обобщением требования Маха, что инерция сводится к взаимодействию тел». Именно это определение принципа, данное самим Эйнштейном, породило наиболее распространенное его понимание многими физиками.

Однако вскоре Эйнштейн осознал, что созданная им общая теория относительности фактически ознаменовала основание новой – геометрической парадигмы, существенно отличающейся от сложившейся к началу XX века триалистической парадигмы. Последняя была основана на трех физических категориях: пространстве-времени, телах (частицах) и полях, описывающих взаимодействия частиц на фоне пространства-времени, тогда как геометрическая парадигма опиралась на две физические категории: искривленное пространство-время (левая часть уравнений Эйнштейна) и материальные тела (правая часть уравнений Эйнштейна).

Принципы, заложенные в основания общей теории относительности, также отличались от реляционных идей Лейбница и Маха. Как писал Эйнштейн: «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 ньютоновская механика: основными понятиями в ней должны служить массы и взаимодействия меж-

ду ними. Между тем не трудно видеть, что такая попытка не вяжется с духом теории поля» [10, с. 268]. Здесь следует уточнить последнюю фразу, – эта попытка не соответствовала духу геометрической парадигмы.

Принципиальная неувязка общей теории относительности с принципом Маха сказалась уже в самом важном решении уравнений Эйнштейна – в метрике Шварцшильда, где источником искривленности пространства-времени является центральная масса, тогда как вдали от нее ничего нет, – на больших расстояниях метрика плоская.

Другая неувязка проявилась при построении космологических решений уравнений Эйнштейна. В частности, для соответствия с принципом Маха Эйнштейн разработал статическую космологическую модель, где замкнутая Вселенная обладала конечным значением массы. Однако вскоре были найдены космологические решения Фридмана с открытыми моделями Вселенной, где принцип Маха уже не реализуется.

Несмотря на то что Эйнштейн отрекся от принципа Маха, эта идея продолжала обсуждаться научной общественностью в течение всего XX века. Предпринимались многочисленные попытки реализации принципа Маха в геометрической парадигме, в частности в трудах Дж. Уилера.

Поскольку глобальные свойства мира (космологию) принято обсуждать в рамках геометрической парадигмы, то именно с этих позиций в XX веке в работах ряда авторов обсуждались удивительные корреляции между микро- и мега-константами, интерпретировавшиеся как проявления принципа Маха.

А. Эддингтон, обсуждая этот вопрос, ввел особое число $N \sim 10^{80}$, характеризующее число барионов во Вселенной. Это число получило название «числа Эддингтона». В его работах был отмечен ряд любопытных корреляций между характеристиками микромира и мегамира, в которых присутствовало число Эддингтона. Например, была записана формула

$$R \sim r N^{1/2},$$

где R – радиус Вселенной, N – число Эддингтона, $r = e^2/mec^2$ – классический радиус электрона.

Г. Вейль в своей статье «Основные черты физического мира. Форма и эволюция» (1949 г.), обратив внимание на то, что отношение сил электромагнитного взаимодействия к гравитационному в атоме выражается через квадратный корень из числа Эддингтона, написал: «Если сказанное принять всерьез, то отсюда следует, что сила притяжения двух частиц зависит от величины общей массы Вселенной! Эта идея является не столь уж странной, какой она кажется на первый взгляд. Э. Мах давным-давно попытался представить инерционную массу тела как результирующую всех масс, находящихся во Вселенной. Теория гравитации Эйнштейна не удовлетворяет постулату Маха, хотя последний исторически и сыграл определенную роль в разработке этой теории. Постулат Маха все еще ждет своей теории (но будет

ли это статистическая теория гравитации, на которую вроде бы указывает квадратный корень в законе?). Итак, единственное, что мы можем пока сказать, – это то, что устройство мира зиждется на двух безразмерных числовых величинах α (постоянная тонкой структуры) и $N^{1/2}$, в тайну которых мы пока не проникли» [12].

П.А.М. Дирак также обращал внимание на удивительную корреляцию числовых характеристик из физики микро- и мега-мира. В своей лекции «Космология и гравитационная постоянная», прочитанной в 1975 году, он также говорил о соотношении гравитационной и электромагнитной сил в атоме, обращал внимание на число Эддингтона. При этом он сказал: «Как и другие безразмерные физические постоянные, это число должно быть объяснено. Можно ли хотя бы надеяться придумать теорию, которая объяснит такое огромное число? Его нельзя разумно построить, например, из 4π и других простых чисел, которыми оперирует математика! Единственная возможность объяснить это число – связать его с возрастом Вселенной» [13].

Интересные соображения о проявлениях принципа Маха и о соотношениях констант приводил в своих работах Г.В. Рязанов (см., например, в [14]).

3. Мировой поглотитель в теории прямого межчастичного взаимодействия Фейнмана–Уилера

К третьему этапу развития представлений о принципе Маха следует отнести его обсуждение в рамках теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия в трудах А. Фоккера, Я.И. Френкеля, Р. Фейнмана, Дж. Уилера и ряда других авторов. Этот этап развивался уже в рамках реляционной парадигмы, одним из существенных факторов которой является описание физических взаимодействий на основе концепции дальнего действия.

В теории прямого межчастичного взаимодействия Фоккера–Фейнмана нет полей-переносчиков взаимодействий как самостоятельных сущностей. Эта теория строится на основе классического действия, в которое входят лишь характеристики взаимодействующих объектов. Уравнения движения частиц находятся с помощью вариационного принципа Фоккера. Общепринятые понятия потенциала и напряженности электромагнитного поля вводятся как производные, вспомогательные понятия. Однако в этой теории теряет смысл понятие электромагнитного потенциала в точках, где отсутствуют заряженные частицы. Это является характерным свойством теории прямого межчастичного взаимодействия.

Как известно, в теории Максвелла (в теоретико-полевой парадигме) существуют как опережающие, так и запаздывающие решения уравнений. В стандартной теории, как правило, опережающие решения устраняются волевым образом. Однако многих исследователей волновал вопрос об обосновании этого волевого приема. Решение этой проблемы было предложено в ра-

боте Дж. Уилера и Р. Фейнмана [15], где в рамках теории прямого электромагнитного взаимодействия было показано, что опережающие воздействия устраняются учетом опережающих воздействий на рассматриваемые системы со стороны материи всего окружающего мира. Более того, ими на этой же основе было дано обоснование возникновения силы тормозного электромагнитного излучения в уравнениях движения заряженных частиц. Эти результаты, несомненно, следует трактовать как проявления принципа Маха.

Отметим, что Фейнман и через много лет после своих классических работ, выполненных совместно с Уилером, продолжал придавать большое значение принципу Маха. В своих «Фейнмановских лекциях по гравитации» он писал: «Мах чувствовал, что концепция абсолютного ускорения относительно “пространства” не имеет глубокого смысла, что вместо этой концепции обычные абсолютные ускорения классической физики должны быть перефразированы как ускорения относительно распределения удаленного вещества. <...> Когда мы рассматриваем это понятие, как фундаментальное предположение или постулат, оно известно как принцип Маха. Возможно, что эта концепция сама по себе может привести к глубоким физическим результатам, многие из которых могут быть получены на том же самом пути, что и принцип относительности» [16].

Дж. Уилер также в своих работах уделял значительное внимание обсуждению принципа Маха. Так, во время посещения физического факультета МГУ в 1971 году он на стене кафедры теоретической физики написал: «Не может быть теории, объясняющей элементарные частицы, которая имеет дело только с частицами». Как следовало из разговора Дж. Уилера с профессором Д.Д. Иваненко, в этой фразе Уилер имел в виду влияние окружающего мира на свойства элементарных частиц, то есть фактически принцип Маха.

4. Работы Ф. Хойла и Дж. Нарликара по обоснованию масс принципом Маха

К четвертому этапу развития идей Маха следует отнести цикл исследований Ф. Хойла и Дж. Нарликара. Так, Нарликар по поводу отказа Эйнштейна от принципа Маха писал: «Ньютоновская концепция инерции и ее измерение в единицах массы были для него неудовлетворительными. Если масса — количество материи в теле, то как понимать ее измерение? Для Маха масса и инерция были не внутренними свойствами тела, а следствиями существования во Вселенной, содержащей другую материю. Для того чтобы измерить массу, необходимо использовать соотношение $F = ma$, то есть измерить силу и поделить ее на производимое ею ускорение. Но 2-й закон Ньютона сам зависит от использования абсолютного пространства, которое теперь идентифицируется с фоновым пространством далекой материи. Таким образом, согласно идее Маха, масса как-то определяется далекой материей» [17].

Для реализации принципа Маха в такой его формулировке Хойл и Нарликар развили специальную теорию [18], названную ими теорией прямого межчастичного гравитационного взаимодействия, однако ее правильное было бы назвать специальным вариантом теории прямого межчастичного скалярного взаимодействия на фоне искривленного пространства-времени общей теории относительности. Авторы этой теории пытались вывести значения масс выделенных частиц из вкладов от всех других частиц окружающего мира.

Однако теория Хойла и Нарликара обладала рядом недостатков. Во-первых, следует отметить, что эта теория имела эклектичный характер, – в ней производилось смешение двух физических парадигм: геометрической и реляционной. На ее полевой характер в свое время обращали внимание С. Дезер и Ф. Пирани [19].

Во-вторых, возникал вопрос о значениях введенных параметров, а именно – вопрос о том, чем они лучше прямого постулирования значений масс. Понимая это, авторы при конкретных вычислениях полагали эти параметры равными единице, но в этом случае возникали новые вопросы типа: чем обусловлено отличие масс различных тел, помещаемых в одну и ту же точку пространства-времени?

В-третьих, эта теория обладала недостатками и других ранее названных теорий прямого межчастичного взаимодействия (электромагнитного и линеаризованного гравитационного), главным из которых являлось использование заранее заданного пространства-времени. При этом не так важно – оно плоское или искривленное.

При обсуждении этой теории в научном сообществе назывались и иные недостатки.

Эти замечания относятся к работам Хойла и Нарликара второй трети XX столетия. Впоследствии Нарликар, продолжая исследования реляционного подхода к мирозданию, пришел к важным выводам. Он писал: «Теперь можно обсуждать всю совокупность явлений квантовой электродинамики без обращения к теории поля. В результате этого устраняется любое возражение против принципа дальнего действия, поскольку он применим к электродинамике. Решающую роль во всем процессе вычислений играет отклик Вселенной. При классических расчетах Вселенная, находящаяся в устойчивом состоянии, порождает «правильный» отклик. <...> В квантовых расчетах также можно показать, что явление, асимметричное во времени, например, спонтанный переход электрона в атоме на более низкий уровень, вызывается откликом Вселенной. В противоположность этому квантование максвелловского электромагнитного поля приписывает эти асимметрии так называемому вакууму и правилам квантования. Поэтому подход, основанный на прямом взаимодействии частиц, позволяет получить для электродинамики тот результат, который Мах пытался получить для инерции. Введя отклик Вселенной в локальный электродинамический эксперимент, мы, по существу, включили принцип Маха в электродинамическую теорию» [17].

5. Принцип Маха в последовательной реляционной парадигме

К пятому этапу развития идей принципа Маха отнесем переформулировку теории прямого межчастичного взаимодействия, осуществленную в наших работах в рамках последовательной (унарной) реляционной парадигмы [2, 3, 20]. Развитие этого направления было связано с осознанием того факта, что концепцию дальнодействия, как и сам принцип Маха, следует рассматривать в комплексе с реляционной трактовкой природы классического пространства-времени. В итоге сложились цельные представления о сущности реляционной парадигмы, основанной на трех неразрывно связанных положениях:

1. Реляционная трактовка природы классического пространства-времени, согласно которой пространство-время не является самостоятельной физической сущностью, а представляет собой абстракцию от отношений между материальными объектами, а точнее, между событиями с участием материальных объектов.

2. Концепция дальнодействия, которая неизбежна в случае отказа от самостоятельного (субстанциального) характера классического пространства-времени. Подчеркнем, что принятое в настоящее время описание физических взаимодействий на основе концепции близкодействия возможно лишь при постулировании априорного характера классического пространства-времени. Отметим, что теории прямого межчастичного взаимодействия Фейнмана–Уилера [21] и Хойла–Нарликара [18] строились на фоне классического пространства-времени, то есть не являлись последовательными теориями в рамках реляционной парадигмы.

3. Принцип Маха оказывается естественным в рамках именно реляционной парадигмы, поскольку в самое основание развиваемой парадигмы вносятся представления о всеобщей связи между всеми материальными объектами Вселенной.

Для развития последовательной реляционной теории долгое время не хватало должного математического аппарата, основы которого были заложены в работах Ю.И. Кулакова [22] и Г.Г. Михайличенко [23] в конце 60-х годов XX века. Однако они долгое время не привлекали к себе внимания из-за общепринятого построения физики в рамках концепции близкодействия на фоне готового пространства-времени. Отметим, что в работах группы Кулакова были развиты два варианта теории систем отношений: 1) унарные теории на одном множестве элементов и 2) бинарные теории систем отношений – на двух множествах элементов. Для описания общепринятых геометрий и классической физики достаточно использовать теорию систем отношений на одном множестве элементов.

Реляционный подход к физике позволяет под новым углом зрения взглянуть на содержание теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия Фоккера–Фейнмана. С точки зрения последовательной реляционной теории в действии, под интегралом стоят два вида отношений:

ток-токовые и пространственно-временные. Каждый из этих видов характеризуется своим законом отношений, записываемым в виде равенства нулю определителя из парных отношений между фиксированным числом элементов. Один из них соответствует геометрии Лобачевского, а другой – геометрии Минковского. При этом важную роль играют миноры этих определителей. В частности, использование простейшего диагонального 2×2 -минора из закона пространства Лобачевского позволяет перейти от теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия к прямому межчастичному гравитационному взаимодействию, ранее построенному в работах Я.И. Грановского и А.А. Пантюшина [24].

Более того, данный переход с привлечением принципа Маха (суммирования по всем окружающим зарядам) позволяет устранить важный недостаток всех предшествующих вариантов теории прямого межчастичного взаимодействия. Для получения содержательной теории авторам приходилось вводить наряду с действием взаимодействия так называемые действия свободных движений зарядов, что не вяжется с духом реляционной парадигмы. В последовательной формулировке реляционной теории такие слагаемые получаются автоматически как завуалированные вклады взаимодействия отдельных частиц с частицами всего окружающего мира.

6. Принцип Маха в бинарной предгеометрии

К шестому этапу следует отнести развитие идей Лейбница и Маха на основе бинарной предгеометрии. Это направление исследований нацелено на решение ключевой задачи фундаментальной теоретической физики – на вывод и обоснование представлений классического пространства-времени из системы некоторых, более элементарных представлений физики микромира, вместо того чтобы использовать их в качестве априорного фона во всех физических построениях.

Решение данной проблемы оказалось возможным на основе выполненного в нашей группе обобщения (комплексификации) [2; 3; 20] теории бинарных систем вещественных отношений, ранее предложенной в работах Ю.И. Кулакова и Г.Г. Михайличенко.

Как уже отмечалось, в группе Кулакова–Михайличенко было разработано две разновидности теорий систем отношений – на одном и на двух множествах элементов. Теория систем отношений на одном множестве элементов оказалась нужной для реляционной переформулировки классической физики и геометрии, а для замены классических пространственно-временных понятий в физике микромира оказался подходящим второй вид теории систем отношений – на двух множествах элементов. Поскольку теория систем отношений на двух множествах элементов строится по образу и подобию теории систем отношений на одном множестве элементов, а последняя соответствует переформулировке геометрий, то теорию на двух

множествах элементов естественно было назвать новым видом геометрии, точнее – бинарными геометриями.

Для решения поставленной задачи (построения предгеометрии) требовалось, во-первых, обобщить теорию бинарных систем вещественных отношений Кулакова–Михайличенко на случай комплексных парных отношений, поскольку физика микромира строится на базе комплексных чисел.

Во-вторых, следовало должным образом проинтерпретировать два множества элементов. Было предложено трактовать одно множество элементов описывающим начальные состояния микросистем, а второе множество – конечные состояния микросистем. Тогда комплексные парные отношения между элементами двух противоположных множеств следует воспринимать как прообразы комплексной амплитуды перехода микросистем из начальных в конечные состояния. Таким образом, бинарные геометрии оказались адекватно отображающими суть квантовой теории, особенно ее S-матричной формулировки.

Отметим, что в бинарной геометрии ключевую роль играет закон бинарной системы комплексных отношений (БСКО), который записывается в виде равенства нулю определителя из всех возможных парных отношений между s элементами первого множества и r элементами второго множества. Совокупность чисел (s, r) носит название ранга БСКО. Были найдены все возможные законы БСКО, причем эта теория оказалась проще теории систем отношений на одном множестве. Было показано, что от теорий БСКО путем своеобразной «склейки» элементов двух множеств можно перейти к унарным системам (к общепринятой геометрии), что и представляет решение поставленной задачи. При этом был получен ряд важных результатов.

1. Прежде всего, было показано, что элементы БСКО минимального (невырожденного) ранга $(3,3)$ описываются 2-компонентными спинорами. Это можно рассматривать как теоретическое обоснование спинорности элементарных частиц.

2. Было продемонстрировано, что склейкой элементов двух множеств элементов БСКО осуществляется переход к 4-мерной унарной геометрии (на одном множестве элементов) с сигнатурой $(+ - - -)$. Это означает, что если в основу мира положить БСКО ранга $(3,3)$, то это позволяет теоретически обосновать как размерность, так и сигнатуру классического пространства-времени.

3. Переход к простейшему бинарному многомерию, соответствующий замене БСКО ранга $(3,3)$ на случай БСКО ранга $(4,4)$, открывает путь к введению обобщенных 3-компонентных спиноров, названных финслеровыми. На их основе в бинарной предгеометрии предлагается описывать частицы, участвующие в сильных взаимодействиях.

4. Всё предыдущее относилось к реализации первых двух составляющих реляционного подхода: реляционного прообраза пространства-времени в физике микромира и к описанию физических взаимодействий в рамках концепции дальнодействия. Для реализации третьей составляющей – прин-

ципа Маха – оказались важными, во-первых, соотношения констант микро- и мега-мира, о которых писали Вейль, Эддингтон и другие авторы и, во-вторых, тот факт, что в рамках БСКО ранга (3,3) отношения связанных во-едино частиц характеризуются $O(4)$ -симметрией. Последнее заставляет решать вопрос о физическом смысле совокупности вкладов-точек 3-мерной гиперсферы. Этот вопрос решается уже в рамках 7-го этапа развития представлений о принципе Маха.

7. Принцип Маха в реляционно-статистическом подходе

Наконец, к седьмому этапу развития идей принципа Маха относится построение реляционно-статистической теории, основанной на реализации в рамках реляционной парадигмы идеи о статистической (макроскопической) природе классического пространства-времени и других понятий современной физики. Эти идеи высказывались неоднократно в разные годы второй половины XX века, в частности, Ван Данцигом [25], П.К. Рашевским [26], Е. Циммерманом [27], Р. Пенроузом [28], Б. Грином [29] и рядом других авторов.

Ключевой идеей этого этапа явилась идея о том, что проявления принципа Маха обусловлены вкладами в классические пространственно-временные понятия со стороны испущенного, но еще не поглощенного электромагнитного излучения [2; 3].

При рассмотрении процессов электромагнитного излучения в рамках последовательного реляционного подхода возникает вопрос, что является носителем унарных и бинарных систем отношений? Поскольку в этой парадигме производится отказ от априорного задания пространственно-временного континуума, то возникает естественный вопрос: где находятся свойства испущенного электромагнитного излучения до его поглощения? В последовательной реляционной парадигме ответом могут служить только отношения между возможными поглотителями этого излучения. Более того, естественно положить, что классические пространственно-временные (и импульсные) понятия обусловлены именно вкладами испущенного, но еще не поглощенного электромагнитного излучения. Но таких излучений чрезвычайно много. Именно этим можно объяснить статистическую природу классического пространства-времени, то есть те микрофакторы, о которых писал П. К. Рашевский в своей книге «Риманова геометрия и тензорный анализ»: «Возможно, что и сам четырехмерный пространственно-временной континуум с его геометрическими свойствами окажется в конечном счете образованием, имеющим статистический характер и возникающим на основе большого числа простейших физических взаимодействий элементарных частиц. Но, конечно, подходы к этому вопросу должны носить совсем иной характер, поскольку они должны базироваться на квантовой механике – теории совершенно иного стиля, чем теория относительности» [26].

Применение реляционно-статистического подхода для построения теории атома, не обращаясь к понятиям классического пространства-времени, было осуществлено в нашей работе [30], что позволяет реализовать ожидания Рашевского о статистическом характере классических пространственно-временных понятий. Это осуществляется на основе принципа Маха.

Заключение

Исходя из изложенного, можно сделать вывод о чрезвычайной важности принципа Маха в построении реалистичной картины физического мироздания. В связи с этим приведем высказывание американского физика-теоретика Р. Дикке (1916–1997) из его статьи «Многоликий Мах»: «Итак, мы видели, что у Маха много лиц – почти столько же, сколько было исследователей, рассматривающих принцип Маха. Будучи основан на глубоких философских идеях, этот принцип является интуитивным, и его трудно возвысить (или, если угодно, низвести) до уровня количественной теории. Но то, что самого Эйнштейна к его чрезвычайно изящной теории гравитации привели соображения, вытекающие из этого принципа, говорит о многом. Принцип Маха еще может быть очень полезным для физиков будущего» [31. С. 249]. Изложенное выше свидетельствует о том, что в настоящее время мы близки к разгадке сущности и механизма проявлений принципа Маха, то есть, выражаясь словами Дикке, близки к тому, чтобы его «низвести до уровня количественной теории».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Эйнштейн А.* Принципиальное содержание общей теории относительности // А. Эйнштейн. Собр. научных трудов. – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 613-615.
2. *Владимиров Ю.С.* Метафизика и фундаментальная физика. Кн. 3: Реляционные основания искомой теории. – М.: ЛЕНАНД, 2018. – 256 с.
3. *Владимиров Ю.С.* Реляционная концепция Лейбница–Маха. – М.: ЛЕНАНД, 2017. – 232 с.
4. *Владимиров Ю.С.* Природа пространства и времени: антология идей. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 400 с.
5. *Лейбниц Г.* Сочинения в четырех томах. – Т. 1. – М.: Мысль, 1982. – 636 с.
6. Физика XIX–XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах: Физика XIX века: сборник – М.: Наука, 1995.
7. *Мах Э.* Механика: историко-критический очерк ее развития. – Ижевск: Ижевская республиканская типография, 2000. – 456 с.
8. *Мах Э.* Познание и заблуждение: очерки по психологии исследования. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 456 с.
9. *Мах Э.* Принцип сохранения работы. История и корень его. – С.-Петербург: Типография т-ва «Общественная польза», 1909. – 68 с.
10. *Эйнштейн А.* Автобиографические заметки // Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 4. – М.: Наука. 1967. – С. 268.
11. *Эддингтон А.* Теория относительности. – М.: КомКнига/URSS, 2007.

12. Вейль Г. Основные черты физического мира. Форма и эволюция // Вейль Г. Избранные труды. Математика. Теоретическая физика. – М.: Наука, 1984. – С. 345–360.
13. Дирак П.А.М. Космологические постоянные // Альберт Эйнштейн и теория гравитации: сборник. – М.: Мир, 1979. – С. 538–539.
14. Рязанов Г.В. Неожиданные следствия из дальнего действия в электродинамике // Сборник тезисов докладов 1-й Ионовской школы-семинара по основаниям теории физического пространства-времени. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – С. 39–41.
15. Wheeler J.A., Feynman R.Ph. Interaction with the absorber as the mechanism of radiation // Reviews of Modern Physics. – 1945. – Vol. 17. – P. 157–181.
16. Фейнман Р.Ф., Моринго Ф.Б., Вагнер У.Г. Фейнмановские лекции по гравитации. – М.: Янус-К, 2000. – 296 с.
17. Нарликар Дж.В. Инерция и космология в теории относительности Эйнштейна // Астрофизика, кванты и теория относительности: сб. – М.: Мир, 1982. – С. 498–534.
18. Hoyle F., Narlikar J.V. Action at a distance in physics and cosmology. – San Francisco: W.N. Freeman and Comp., 1974. – 276 p.
19. Deser S., Pirani F.A. Critique of a new theory of gravitation // Proceedings of the Royal Society. 1965. – Vol. A288. – P. 133–145.
20. Владимиров Ю.С. Основания физики. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 455 с.
21. Wheeler J.A., Feynman R.Ph. Classical Electrodynamics in Terms of Direct Interparticle Action // Reviews of Modern Physics. – 1949. – V. 21. – P. 425–433.
22. Кулаков Ю.И. О новом виде симметрии, лежащей в основании физических теорий феноменологического типа // Доклады АН СССР. – 1971. – Т. 201. – № 3. – С. 570–572.
23. Михайличенко Г.Г. Математический аппарат теории физических структур. – Горно-Алтайск: Изд-во Горно-Алтайского государственного университета, 1997. – 144 с.
24. Грановский Я.И., Пантюшин А.А. К релятивистской теории тяготения. // Известия АН Каз. ССР. Серия физ.-мат. – 1965. – № 2. – С. 65–69.
25. Dantzig D. Van. On the relation between geometry and physics and concept of space-time // Funfzig Jahre Relativitatstheorie. Konferenz Bern, Basel, 1955. Bd. 1. – S. 569.
26. Рашевский П.К. Риманова геометрия и тензорный анализ. – М.: Наука, 1967. – 658 с.
27. Zimmerman E.J. The macroscopic nature of space-time // American Journal of Physics. – 1962. – Vol. 30. – P. 97–105.
28. Пенроуз Р. Структура пространства-времени. – М.: Мир, 1972. – 184 с.
29. Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. – М.: Книжный дом «Либроком»/URSS, 2017. – 288 с.
30. Владимиров Ю.С., Терещенко Д.А. Реляционно-статистическое обоснование O(4)-симметрии атома водорода // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. – 2016. – № 1 (14). – С. 43–53.
31. Дикке Р. Многоликий Мах // Гравитация и относительность: сборник – М.: Мир, 1965. – С. 221–250.

THE DEVELOPMENT OF IDEAS ABOUT THE MACH PRINCIPLE

Yu.S. Vladimirov, D.A. Tereshchenko

*Physical Faculty of Lomonosov Moscow State University,
Institute of Gravitation and Cosmology, RUDN University*

Seven basic stages of the development of ideas about Mach principle are identified and characterized: 1) preliminary considerations of G. Leibniz and other thinkers, 2) formulation of the principle by Mach Einstein when creating GTR, 3) development of the theory of the global absorber R. Feynman and J. Wheeler, 4) works F. Hoyle and J. Narlickar on the substantiation of masses by Mach principle, 5) development of a consistent relational paradigm based on the theory of unary systems of real relations, 6) generalization of the relational paradigm based on the theory of binary relation systems, 7) construction relational-statistical picture of the world as part of a binary pregeometry.

Keywords: Mach principle, relational approach, long-range concept, global absorber, theory of relationship systems, binary pregeometry.