

МЕТАФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ФИЗИКИ

DOI: 10.22363/2224-7580-2025-4-7-18

EDN: MNGGSC

МИР КАК СИСТЕМА ОТНОШЕНИЙ, КОНЦЕПЦИЯ ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ И ПРИНЦИП МАХА

Ю.С. Владимиров

*Физический факультет Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова*

Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1, стр. 2;

Учебно-научный институт гравитации и космологии

Российского университета дружбы народов

Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Аннотация. В статье дается информация о продолжающихся долгие годы трех видах дискуссий о природе пространства-времени, соответствующих трем составляющим реляционной парадигмы в физике: реляционной концепции пространства-времени, описанию взаимодействий в рамках концепции дальнего действия и признанию принципа Маха. В итоге предлагается обоснование этих составляющих в рамках метареляционной парадигмы, соответствующей мыслям, ранее высказанным рядом физиков, математиков и философов.

Ключевые слова: реляционная природа пространства-времени, концепции дальнего действия и близкого действия, принцип Маха, электромагнитное излучение

Физическое пространство, которое я имею в виду (и которое включает в себя вместе с тем и время), есть не что иное, как *зависимость явлений друг от друга*. Совершенная физика, которая распознала бы эту основную зависимость, не имела бы больше никакой надобности в особых воззрениях пространства и времени, так как они и без того были бы уже исчерпаны.

Эрнст Мах [1. С. 428]

Даже в простейшем случае, в котором мы как будто занимаемся взаимодействием только двух масс,

отвлечься от остального мира невозможно. 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.

Эрнст Мах [1. С. 199]

Введение

В статье напоминаются три вида тесно связанных между собой дискуссий о природе координатного пространства-времени: 1) о реляционной или субстанциальной сущности пространства-времени, 2) о выборе описания физических взаимодействий в рамках концепций дальнего действия или ближнего действия и 3) о признании или непризнании принципа Маха. Эти дискуссии фактически ведутся на протяжении многих веков (если не тысячелетий) вплоть до настоящего времени.

Сначала эти дискуссии касались вопроса о независимости или взаимной обусловленности категорий пространства (-времени) и тел (частиц), затем после введения категории полей – переносчиков взаимодействий они трансформировались в проблему выбора описания взаимодействий через концепцию ближнего действия или дальнего действия, а далее перешли в дискуссии вокруг принципа Маха.

Современное состояние физики свидетельствует об актуальности решения этих проблем. В данной статье с позиций метареляционной парадигмы обосновывается неразрывная связь этих проблем и показана необходимость признания именно реляционной сущности пространства-времени, описания физических взаимодействий в рамках концепции дальнего действия и учета принципа Маха.

1. Дискуссии о сущности пространства-времени

Поскольку в современной физике пространство-время фактически используется как априорно заданная сущность, то уместно лишний раз напомнить суть продолжающихся по настоящее время дискуссий по этому вопросу.

Начнем с напоминания дискуссии о реляционной сущности пространства (-времени) между Г. Лейбницем (1646–1716) и сторонниками И. Ньютона (1643–1727), что было отображено в письмах Лейбница к С. Кларку, где Лейбниц задавал вопрос: останется ли пространство, если из него удалить тела. Сторонники Ньютона считали, что останется, тогда как Лейбниц считал, что пространство потеряет смысл. Он писал: «Я неоднократно подчеркивал, что считаю *пространство*, так же как и время, чем-то чисто относительным:

пространство – *порядком существования*, а время *порядком последовательностей*. ...Для опровержения мнения тех, которые считают пространство субстанцией или, по крайней мере, какой-то абсолютной сущностью, у меня имеется несколько доказательств» [2. С. 441].

Позже аналогичной позиции придерживался и хорватский философ Р.И. Бошкович (1711–1787), который заявлял: «Я не признаю никакого сосуществующего континуума... Ибо пространство для меня не есть какой-либо континуум, но только воображаемый» (цит. по [3. С. 208]). Близкую точку зрения отстаивал и философ Д. Юм (1711–1776): «...невозможно представить пустое пространство или протяжение без материи, а также время без последовательности или изменений в каком-либо реальном существовании» [4. С. 98].

Уже после создания общей теории относительности, фактически основанной на обобщении представлений об априорно заданном (субстанциальном) пространстве-времени, А. Эддингтон писал: «Может быть, есть еще более широкая теория относительности, с точки зрения которой наша предполагаемая среда должна быть, в свою очередь рассматриваема как абстракция соотношений вещества, распределенного в мире, причем она не существует независимо от такого вещества» [5. С. 164].

Имеется ряд аналогичных высказываний и других выдающихся мыслителей прошлого. Здесь же напомним мнение Э. Маха: «Можно, пожалуй, сказать, что главным образом со времени Ньютона время и пространство стали теми *самостоятельными* и однако бестелесными сущностями, которыми они считаются по настоящее время. <...> Этот взгляд лежит, как наследие Ньютона, в основе и современной физики, хотя, может быть, чувствуется некоторое нежелание открыто это признать» [6. С. 420–421]. Эти слова Маха не утратили своей актуальности и в наши дни.

Однако в нашей стране в период господства идеологии диалектического материализма реляционные взгляды Маха было принято отвергать. Это было обусловлено позицией В.И. Ленина, изложенной в его книге «Материализм и эмпириокритицизм», где он писал: «Он (Э. Мах. – Ю.В.) чувствует, что катится к идеализму и “сопротивляется”, делая кучу оговорок, топя вопрос, подобно Дюрингу, в длиннейших рассуждениях (см. особенно “Познание и заблуждение”) об изменчивости наших понятий пространства и времени, об относительности их и т.п. Но это его не спасает и не может спасти, ибо действительно преодолеть идеалистическую позицию по данному вопросу можно исключительно признав объективную реальность пространства и времени. А этого Мах ни за что не хочет. Он строит гносеологическую теорию времени и пространства на принципе релятивизма, – и только. Ни к чему иному, кроме субъективного идеализма, такая перестройка, по сути дела, привести не может, как мы уже выяснили, говоря об абсолютной и относительной истине» [7. С. 173–174]. Это означало признание Лениным априорно заданной сущности пространства-времени.

Наконец, уместно напомнить высказывание В. Гейзенберга: «С точки зрения современной науки мы бы сказали, что пустое пространство между

атомами Демокрита – это не ничто; оно является носителем геометрии и кинематики и делает возможным порядок и движение атомов. До сих пор возможность пустого пространства осталась нерешенной проблемой» [8. С. 32].

2. Дискуссии о состоянии испущенного, но еще не поглощенного излучения

После признания физиками понятия поля как переносчика физических взаимодействий, вводимого на фоне пространства(-времени) дискуссии переросли в диспуты о характере описания взаимодействий: через концепцию близкодействия или дальнодействия. Дискуссии о выборе одной из этих двух концепций подробно рассмотрены в работе [9], а также в ряде других наших публикаций [10–12]. Однако ввиду того, что в настоящее время большинство коллег по-прежнему придерживается концепции близкодействия, уместно кратко напомнить высказывания видных участников дискуссий.

В конце XIX века этот вопрос поднимался Д.К. Максвеллом (1831–1879) в «Трактате об электричестве и магнетизме», где в последней главе с характерным названием «Теория действия на расстоянии» он критиковал Б. Римана и К. Неймана за положительные высказывания в пользу концепции дальнодействия. Максвелл писал: «Но во всех этих теориях естественно встает вопрос: если нечто передается от одной частицы к другой на расстоянии, то каково его состояние после того, как оно покинуло одну частицу, но еще не достигло другой?» [13] Сам он считал, что излучение распространяется в виде полей по пространству. И это он считал свидетельством в пользу концепции близкодействия. В заключительной части трактата Максвелл написал: «Следовательно, все эти теории (распространения излучения. – Ю.В.) ведут к понятию среды, в которой имеет место распространение, и если мы примем эту среду за гипотезу, я думаю, она должна занять выдающееся место в наших исследованиях и следует попытаться построить мысленное представление ее действия во всех подробностях; это и явилось моей постоянной целью в настоящем трактате» [13].

Этот вопрос обсуждался также А. Пуанкаре (1854–1912), который писал: «И когда где-нибудь обнаруживают действие на расстоянии, стремятся представить себе и промежуточную среду, которая обладает свойством передавать это действие от точки к ближайшей точке. Однако на этом пути продвинулись не слишком далеко, ибо если эта среда непрерывна, то это не дает никакого удовлетворения нашей привязанности к простоте, то есть нашей потребности все понимать. Если же она состоит из атомов, то атомы не могут находиться в постоянном соприкосновении, хотя они и расположены на очень малых расстояниях друг от друга» [14. С. 490].

Позже аналогичный вопрос поднимался в 1930 году во время диспута о выборе одной из двух концепций (дальнодействия или близкодействия) в Ленинградском политехническом институте, где В.Ф. Миткевич (1872–1951), сторонник концепции близкодействия, задавал вопрос Я.И. Френкелю (1894–1952), стороннику дальнодействия: где находится энергия испущенного

излучения в промежутке между испусканием и поглощением? На этот вопрос был дан недостаточно четкий ответ, – во всем пространстве. Тем не менее Френкель решительно настаивал на необходимости концепции дальнего действия. Он заявлял: «Не дальнее действие оказывается необходимым сводить к близкому действию, а, наоборот, близкое действие к дальнему действию. <...> Почему физики так долго, так упорно отстаивали и до сих пор еще отстаивают, идею близкого действия? Я думаю, что причина этого лежит в области, так сказать, психологической, что представление о близком действии имеет характер антропоморфный. Мы своим телом можем давить на другое тело только путем непосредственного соприкосновения» [15. С. 73–74].

В процессе дискуссии был сформулирован критерий, позволяющий четко различать сторонников двух позиций. Он состоял в следующем: между излучателем и поглотителем мысленно описывалась сфера радиуса, меньшего расстояния между излучателем и поглотителем. Ставился вопрос: испущенное излучение, прежде чем достичь поглотителя, пересекает эту сферу или нет? Сторонники концепции близкого действия отвечали, что, конечно, пересекает, а сторонники концепции дальнего действия заявляли, что нет, не пересекает.

Сторонниками концепции дальнего действия были Я.И. Френкель, И.Е. Тамм, С.И. Вавилов, Г.А. Гамов и некоторые другие известные физики, а концепцию близкого действия поддерживали В.Ф. Миткевич и ряд лиц, имена которых уже мало что говорят современному читателю.

Существенным недостатком как выдвинутого критерия, так и позиций обеих сторон дискуссии было использование представлений об априорной заданности классического пространства-времени. На этом диспуте никто не решился упомянуть взгляды Э. Маха о реляционной сущности пространства (-времени). Сторонники концепции дальнего действия так и не смогли убедительно доказать свою правоту. Главным итогом дискуссии явилась лишь констатация наличия двух взаимно исключающих концепций.

3. Принцип Маха

Высказывания в пользу реляционной сущности пространства-времени и концепции дальнего действия фактически способствовали формированию принципа, ныне именуемого принципом Маха. Напомним, что мысли Маха были возведены в ранг принципа А. Эйнштейном в процессе создания общей теории относительности, когда он был солидарен с реляционными взглядами Маха.

3.1. Истоки принципа Маха

В настоящее время далеко не все знают, что такое принцип Маха. О нем не говорят преподаватели ни в средней школе, ни в ВУЗах. По этой причине в ряде наших работ [10–12] подробно приводятся высказывания ряда авторитетных авторов о необходимости его учета. Прообраз этого принципа был

заложен еще в трудах Лейбница и других выше упоминавшихся мыслителей прошлого.

Так, Г. Лейбниц писал, что «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» [16. С. 424].

Кун Фишер в книге «Лейбниц, его жизнь, сочинения и учение» писал, что, согласно взглядам Лейбница, «невозможно, чтобы данная вещь представляла только свою индивидуальность, не включая в это представление непосредственно всех остальных индивидуумов. Если мы назовем совокупность или порядок вещей миром, то этот индивидуум возможен только в этом мире, в этом порядке вещей и не может без него ни существовать, ни быть понятным; поэтому природа каждого существа заключает в себе связь со всеми остальными, стало быть, саму Вселенную» [17].

Впоследствии аналогичная мысль отстаивалась и развивалась в работах Эрнста Маха. Эти его взгляды отображены в эпиграфе к данной статье. Мах многократно писал: «Мы не должны забывать того, что все вещи неразрывно связаны между собой и что мы сами со всеми нашими мыслями составляем лишь часть природы» [1. С. 190]. Неразрывные связи объектов, согласно принципу Маха, означают, что свойства объектов, в том числе и отношения между ними, определяются совокупностями всех окружающих материальных объектов.

3.2. Трактовка принципа Маха Эйнштейном и возникшие из этого следствия

Как известно, часть реляционных идей Маха была возведена в ранг принципа Маха А. Эйнштейном при создании общей теории относительности. 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» [18. С. 613]. В качестве третьего положения был назван «Принцип Маха: G-поле полностью определено массами тел». Ниже в примечании Эйнштейн поясняет этот третий принцип: «Название принцип Маха выбрано потому, что этот принцип является обобщением требования Маха, что инерция сводится к взаимодействию тел». В другом месте он писал: «По мнению Маха, в действительно рациональной теории инертность должна, подобно другим ньютоновским силам, происходить от взаимодействия масс» [19. С. 268]. А поскольку гравитационные взаимодействия определяются массами, то в дальнейшем многие стали трактовать этот принцип в духе зависимости масс объектов от свойств всего окружающего мира.

Отметим, что А. Эддингтон, пытаясь конкретизировать эйнштейновское понимание принципа Маха, предложил следующую формулу для массы электрона:

$$m_e c^2 = \frac{e^2 \sqrt{N}}{R}, \quad (1)$$

где справа в числителе записан корень квадратный из числа Эддингтона $N \approx 10^{80}$, определяющего число нуклонов во Вселенной, а в знаменателе записан радиус R наблюдаемой Вселенной. Характерно, что в приведенной формуле масса электрона зависит от двух понятий: 1) микромира (конкретной частицы) – ее электрического заряда и 2) мегамира – радиуса Вселенной и числа нуклонов в ней.

Исходя из изложенных выше соображений, число Эддингтона можно было бы трактовать как число испущенных, но еще не поглощенных электромагнитных излучений, а радиус R понимать как усредненное расстояние до суммы источников излучения.

В последующие годы постепенно формировались мысли о том, что принцип Маха сказывается не только на значениях масс материальных объектов, но и на других свойствах окружающего мира. С позиций метареляционной парадигмы можно усмотреть проявления принципа Маха в структуре атомов. Так, подставляя формулу Эддингтона (1) в атомный постулат Нильса Бора $m_e v r = n h$ и учитывая выражение постоянной тонкой структуры $\gamma = e^2 / hc$, находим

$$\gamma \left(\frac{v}{c} \right) \left(\frac{r}{R} \right) = \frac{n}{\sqrt{N}}. \quad (2)$$

Это выражение иллюстрирует соотношения понятий в атоме с понятиями во всей Вселенной.

Вспомним еще одну загадочную формулу о представлении отношения масс электрона и протона через постоянную тонкой структуры:

$$\frac{m_e}{m_p} = C_0 \gamma^2, \quad (3)$$

где $C_0 \approx 10$. Подставляя эту формулу в (2), получаем

$$\left(\frac{m_e}{m_p} \right) \left(\frac{r}{R} \right) \left(\frac{v}{c} \right) \approx \frac{n}{\sqrt{N}}. \quad (4)$$

Это может означать, что отношение масс протона и электрона, так же как и происхождение этих масс, является обусловленным принципом Маха.

Таким образом, в атомном постулате Бора фактически содержатся три (если не четыре) вида соотношений величин в микромире и в мегамире.

3.3. Высказывания в пользу принципа Маха

Изложенные соображения (в идеологическом плане) подкрепляются высказываниями ряда авторитетных физиков и философов XX века. Приведем ряд таких высказываний в пользу принципа Маха.

1. Начнем с высказываний общего характера. Так, Р. Дикке писал: «Итак, мы видели, что у принципа 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» [20. С. 249].

2. Однако в данном случае для нас более существенны высказывания в пользу обоснования принципом Маха именно координатных пространственно-временных отношений. Так, известный американский физик-теоретик Е. Циммерман в своей работе с характерным названием «Макроскопическая природа пространства-времени» писал: «...микроскопические системы взаимодействуют способами, которые также должны описываться абстрактно, то есть без ссылок на пространство и время. Когда огромное число таких микроскопических систем взаимодействует, простейший и самый фундаментальный результат состоит в создании пространственно-временного каркаса, который придает законность классическим представлениям о пространстве и времени, но лишь на макроскопическом уровне» [21].

Подобные мысли высказывались и Ван Данцигом, призывавшим «к построению более реалистичной модели физики», так называемой «модели вспышек» [22]. Это являлось несомненным призывом к развитию реляционных представлений о физическом мироздании, в которых пространство-время не имеет статуса первичной категории, а представляет собой абстракцию от системы отношений между событиями («вспышками» и поглощениями).

3. Уместно упомянуть также высказывания Р. Фейнмана, который, упоминая взгляды Э. Ферми, писал: «Предположим, что все атомы Вселенной помещены в некотором кубе. Классически такой куб можно рассматривать как обладающий собственными колебаниями, описываемыми с помощью распределения гармонических осцилляторов, взаимодействующих с веществом. Переход к квантовой электродинамике заключается в простом предположении, что эти осцилляторы являются не классическими, а квантовыми. <...> Взаимодействие фотонов с веществом приводит к изменению числа фотонов n на 1 (излучение или поглощение). Поле в кубе можно представить в виде плоских стоячих волн, сферических волн или плоских бегущих волн. Можно сказать, что полное поле в кубе состоит из кулоновского поля, ответственного за мгновенное взаимодействие зарядов по закону e^2/r_{ji} , и поля, связанного с поперечными волнами» [23. С. 9].

В другой своей работе Р. Фейнман писал (опять же в духе взглядов Ферми) о двух частях электромагнитных воздействий: «Одна из них оказывает вклад, обусловленный мгновенным кулоновским взаимодействием; оставшуюся часть назовем действием $S(\text{field})$, которое соответствует полю излучения (учет излучения обеспечивает все поправки к мгновенному полю, например поправки, связанные с запаздыванием суммарного воздействия электромагнитного поля, и поправки на скорость распространения этого взаимодействия, которое не превышает скорость света)» [24. С. 262].

П.А.М. Дирак в своих «Лекциях по квантовой теории поля» [25] обсуждал в духе идей принципа Маха возможность изменения гравитационной постоянной G , вызванного расширением Вселенной.

Наконец, нельзя не упомянуть отрицательное отношение в нашей стране к принципу Маха в связи с высказыванием В.И. Ленина в его книге «Материализм и эмпириокритицизм. Критические заметки об одной реакционной философии», где он сравнивал взгляды Маха в физике с поцелуем Иуды Христу. Это определило на долгие годы критическое отношение в нашей стране к взглядам Маха и его сторонникам.

4. Метареляционное обоснование принципа Маха

В наших работах развивается так называемая *метареляционная парадигма*, основанная, во-первых, на трех метафизических принципах (дуализма, тринитарности и фундаментальной симметрии) и, во-вторых, на трех указанных выше составляющих реляционного понимания физической реальности. Метареляционная парадигма строится на основе математического аппарата бинарных систем комплексных отношений, истоки которого были заложены в теории физических структур Ю.И. Кулакова и Г.Г. Михайличенко (однако лишь в рамках вещественных отношений). Развитие данной парадигмы нацелено на решение уже давно обозначенной проблемы – вывода общепринятых представлений классического пространства-времени и физических понятий, вводимых на их основе из более первичной системы понятий и закономерностей, присущих физике микромира. В наших работах (см. [10–12]) было показано, что истоки ныне общепринятых понятий координат и импульсов вскрываются в рамках бинарных систем комплексных отношений трех минимальных рангов (2,2), (3,3) и (4,4). Однако при этом необходимо учитывать также влияние на микрочастицы со стороны всего окружающего мегамира.

Отметим, что последнее соответствует взглядам Дж. Уилера, который при посещении физического факультета МГУ в 1971 году написал на стене кафедры теоретической физики слова: «Не может быть теории, объясняющей элементарные частицы, которая имеет дело лишь с частицами». При этом в беседе с Д.Д. Иваненко он пояснил, что, развивая физику элементарных частиц, необходимо учитывать принцип Маха.

В рамках метареляционного подхода предлагается конкретизация проявлений принципа Маха, показывается их связь с дуализмом понятий импульсов и координат. Импульсы материальных объектов ответственны

(во взаимодействиях) за переходы макрообъектов из низших (атомных) состояний в высшие, которые затем переходят из высших в низшие состояния, испуская электромагнитные излучения.

Поскольку в исходных положениях метареляционной парадигмы нет априорно заданного пространства-времени, ныне используемого в рамках теоретико-полевой и геометрической парадигм для описания процесса излучения, то в рамках метареляционной парадигмы не остается ничего иного как реализовать противоположный ход мысли, – не использовать готовое пространство-время для описания промежуточных состояний между излучением и поглощением (распространения излучения), а признать саму совокупность излучений истоком происхождения пространства-времени.

Испущенное электромагнитное излучение генерирует некоторый вклад в отношения между излучателем и всеми возможными поглотителями этого излучения, а поскольку всегда имеется гигантское количество испущенных, но еще не поглощенных электромагнитных излучений, то суммарное наложение их вкладов в отношения между возможными поглотителями (между материальными объектами) в совокупности и формирует пространственно-временные понятия.

Отметим, что подобные взгляды высказывались рядом других известных мыслителей. Так, нидерландский математик, физик и философ Д. Ван Данциг в своей статье «О соотношении между геометрией и физикой и концепция пространства-времени» писал: «Недостаточно ясно, какие логические или эпистемологические преимущества у интерпретации части геометрического объекта, как, скажем, электромагнитного поля, а не наоборот» [22]. После обсуждения этой проблемы он написал: «По этим причинам можно считать метрику описанием некоторого “нормального” состояния материи (включая излучение) и дать ей статистическую интерпретацию, как некоторое усреднение физических характеристик окружающих событий, вместо того чтобы класть ее в основание всей физики» [Там же].

Английский физик-теоретик Пол Дэвис высказывал близкую мысль: «Можно даже попытаться найти (и некоторые физики пытаются) волновую функцию для всей Вселенной. В подобной схеме судьба любой частицы неотделима от судьбы космоса, не в традиционном смысле, когда она может подвергнуться воздействию из окружающей среды, а потому что сама ее реальность переплетена с реальностью остальной Вселенной» [26. С. 211].

В связи с изложенным уместно также привести высказывание отечественного математика, автора известной книги «Риманова геометрия и тензорный анализ» П.К. Рашевского: «Между тем трудно сомневаться в том, что макроскопические понятия, в том числе и наши пространственно-временные представления, на самом деле уходят своими корнями в микромир. Когда-нибудь они должны быть раскрыты как некоторый статистический итог, вытекающий из закономерностей этого мира – далеко еще не разгаданных – при суммарном наблюдении огромного числа микроявлений» [27. С. 258].

Таким образом, имеется достаточно оснований утверждать, что поскольку мы живем в «океане» испущенных, но еще не поглощенных

излучений, то естественно сделать вывод, что *наблюдаемые нами пространственно-временные понятия формируются наложением вкладов от «океана» испущенного, но еще не поглощенного электромагнитного излучения.*

Литература

1. *Мах Э.* Механика : историко-критический очерк ее развития. Ижевск : Ижевская республиканская типография, 2000.
2. *Лейбниц Г.* Третье письмо к Кларку // Лейбниц. Сочинения: в 4 томах. Т. 1. Москва : Мысль, 1982.
3. *Гайденко П. П.* История новоевропейской философии в ее связи с наукой. Москва : Издательство «Университетская книга», 2000.
4. *Юм Д.* Сочинение: в 2 томах. Т. 1. Москва : Мысль, 1996.
5. *Eddington A. S.* Fundamental theory. New York : Cambridge Press, 1946.
6. *Мах Э.* Познание и заблуждение : очерки по психологии исследования. Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний. 2003.
7. *Ленин В. И.* Материализм и эмпириокритицизм. Москва : Изд-во политической литературы, 1979.
8. *Гейзенберг В.* Физика и философия. Часть и целое. Москва : Наука, 1989.
9. *Владимиров Ю. С.* Метафизические основания физики : обоснование метареляционной парадигмы. Москва : ЛЕНАНД, 2024.
10. *Владимиров Ю. С.* Реляционная теория пространства-времени и взаимодействий. Часть 1. (Теория систем отношений). Москва : Изд-во Московского Университета, 1995.
11. *Владимиров Ю. С.* Физика дальнего действия. Часть 1. (Природа пространства-времени). Москва : Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2016.
12. *Владимиров Ю. С.* Реляционная картина мира. Книга 2 : От бинарной предгеометрии микромира к геометрии и физике макромира. Москва : ЛЕНАНД, 2021.
13. *Максвелл Д. К.* Трактат об электричестве и магнетизме. Т. 2. Москва : Наука, 1989.
14. *Пуанкаре А.* О науке. Москва : Наука, 1983.
15. Природа электрического тока. Беседы-диспуты в Ленинградском политехническом институте : сб. Москва – Ленинград : Изд-во Всесоюзного электротехнического общества, 1930.
16. *Лейбниц Г. В.* Переписка с Кларком // Сочинения: в 4 томах. Т. 1. Москва : Мысль, 1982.
17. *Фишер К.* Лейбниц, его жизнь, сочинения и учение. Санкт-Петербург : Издание Д. Е. Жуковского, 1905.
18. *Эйнштейн А.* Принципиальное содержание общей теории относительности // Собр. научных трудов. Т. 1. Москва : Наука, 1965.
19. *Эйнштейн А.* Автобиографические заметки // Собр. научн. трудов. Т. 4. Москва : Наука, 1967.
20. *Дикке Р.* Многоликий Мах // Гравитация и теория относительности : сб. Москва : Мир, 1965.
21. *Циммерман Е. Дж.* Макроскопическая природа пространства-времени // Основания физики и геометрии : сб. Москва : Изд-во РУДН, 2008. С. 254-263.
22. *Dantzig D. van. Jn.* The relation between geometry and physics and concept of space-time // Funfzig Jahre Relativitatstheory. Konferenz Bern. Basel. 1955. Bd. 1. S. 569.
23. *Фейнман Р.* Квантовая электродинамика. Москва : Мир, 1969.
24. *Фейнман Р., Хиббс А.* Квантовая механика и интегралы по траекториям. Москва : Мир, 1969.
25. *Дирак П. А. М.* Лекции по квантовой теории поля. Москва : Наука, 1971.
26. *Дэвис П.* Проект Вселенной. Новые открытия творческой способности природы к самоорганизации. Москва : Библиейско-богословский институт св. апостола Андрея, 2009.
27. *Рашевский П. К.* Риманова геометрия и тензорный анализ. Москва : Наука, 1967.

THE WORLD AS A SYSTEM OF RELATIONS, THE CONCEPT OF ACTION AT A DISTANCE AND MACH'S PRINCIPLE

Yu.S. Vladimirov

*Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University
2 bldg, 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation
Institute of Gravity and Cosmology RUDN University
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation*

Abstract. This article provides information on three long-running debates about the nature of space-time, corresponding to the three components of the relational paradigm in physics: the relational concept of space-time, the description of interactions within the concept of action at a distance, and the recognition of Mach's principle. Finally, a justification for these components is offered within the framework of a metarelativistic paradigm, corresponding to ideas previously expressed by a number of physicists, mathematicians, and philosophers.

Keywords: relational nature of space-time, concepts of long-range and short-range action, Mach's principle, electromagnetic radiation