

ЧЕЛОВЕК. НАУКА. КУЛЬТУРА

УДК 168:115.4

DOI: 10.26456/vtphilos/2024.4.006

КОНВЕНЦИОНАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР ПОСТРОЕНИЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

С.Н. Коськов

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева»,
г. Орел

В статье продемонстрированы гениальные ходы мыслей А. Эйнштейна. Обоснован конвенциональный характер принципов постулатов теории относительности.

***Ключевые слова:** субъект научного познания, научная теория, конвенция, конвенциональность знания, пространство, время.*

Строго говоря, логического перехода от специальной теории относительности к общей теории относительности не существует. Обычно в известной нам литературе этот логический переход оформляется задним числом, Эйнштейн с таким же успехом мог и не создать общую теорию относительности.

Дело в том, что еще в сознании древних греков родилась мечта о такой теории (эпистэмное знание), которое, исходя из небольшого набора теоретических принципов, знаний, аксиом, постулатов могла бы объяснить сущностную структуру мира. Поэтому греки пришли в полный восторг, когда появилась Евклидова геометрия. Представить геометрию как чистую теорию, как эпистэмное знание, которое никак не связано с чувственной наглядностью (доксо), с материальными стихиями, казалось немислимым делом. Евклид не только создал геометрию как чистое знание, но и представил геометрию как дедуктивно-аксиоматическую теорию, где из пяти аксиом можно было развернуть дедуктивным способом всё геометрическое знание, тем самым объяснить структуру мира. Эта теория стала образцом для построения научных теорий вплоть до наших дней. Данный идеал в своей душе лелеял и Ньютон, создавая свои оптику и механику. Этим идеалом руководствовался Максвелл, придавая математическое ядро электродинамике. На него ориентировался Эйнштейн, веря в то, что мир устроен строго рационально [1]. Для Ньютона это означало открыть теорию. Другими словами, – Господь Бог наградил Ньютона за его терпение и трудолюбие видением сущности мира. Максвелл позволил себе настолько свободное обращение с математическими уравнениями электродинамики, что вызвало не только удивление, но и не принятие не только этих сначала шести, потом четырех уравнений электродинамики, но и всей максвелловской разработки данной теории.

Когда в ходе аналитического построения Максвелл наталкивается на очевидное противоречие, он, не колеблясь, преодолевает его с помощью обескураживающих вольностей. Например, ему ничего не стоит исключить какой-нибудь член, заменить неподходящий знак выражения обратным, подменить значение какой-нибудь буквы. На тех, кто восхищался непогрешимым логическим построением электродинамики Ампера, теория Максвелла должна была производить неприятное впечатление [2]. Физикам не удалось привести ее в стройный порядок, т. е. освободить от логических ошибок и непоследовательностей. Но, с другой стороны, они не могли отказаться от теории, которая, как мы увидим в дальнейшем, органически связывала оптику с электричеством. Поэтому в конце прошлого века крупнейшие физики придерживались тезиса, выдвинутого в 1890 г. Герцем: раз рассуждения и подсчеты, с помощью которых Максвелл пришел к своей теории электромагнетизма, полны ошибок, которые мы не можем исправить, примем шесть уравнений Максвелла как исходную гипотезу, как постулаты, на которые и будет опираться вся теория электромагнетизма. *«Главное в теории Максвелла — это уравнения Максвелла,»* — говорит Герц.

Немецкие физики создали комиссию, а возглавил её Герц. Из теории Максвелла вытекало существование коротких электромагнитных волн. Обнаружить такие волны поручили Рентгену. Рентген В.К. действительно обнаружил эти х-лучи, которые теперь всем хорошо известны. Хотя это не могло являться подтверждением электродинамики Максвелла, потому что Модус-Толленс запрещает переход от истинности следствий к истинности оснований. Не только немецкие физики, но и вся образованная Европа — это хорошо знала ещё с гимназической скамьи [3].

Эйнштейн не считал себя открывателем теории, а считал себя изобретателем теории. Он постоянно подчеркивал свою позицию, — «я не открываю теории, я их конструирую» (цит. по: [4]). Эту мысль часто встречается в третьем и четвертом томах собраний научных трудов. В частности, Эйнштейн критикует Эрнеста Маха за его предвзятое отношение к научной теории, к его попыткам понизить статус научной теории до описательной функции (крайний случай феноменологического подхода). «...он [Мах] недостаточно подчеркнул конструктивный и спекулятивный характер всякого мышления, в особенности научного мышления. Вследствие этого он осудил теорию как раз в тех ее местах, где конструктивно-спекулятивный характер ее выступает неприкрыто...» [11, с. 139]. Свои специальную и общую теории относительности он действительно сконструировал, исходя из наработок в классической физике.

Так, в физике было хорошо известно практическое положение — скорость света постоянна и скоростей, превышающих скорость света, не существует, это предельная скорость физического взаимодействия. Но сделать этот практический принцип теоретическим законом — скорость света постоянна и не зависит от характера движения источника света, сумел только Эйнштейн, эмпирическое положение перенес на теоретический уровень,

придал этому практическому положению статус теоретического постулата. Всем физикам по меньшей мере со времен Галилея было хорошо известно практическое положение об эквивалентности гравитационной и инерционных масс. Только Эйнштейн это простенькое практическое положение дел сумел сделать теоретическим законом. Этот теоретический закон эквивалентности гравитационной и инерционных масс стал основным законом общей теории относительности. Данный гениальный ход мысли – придать эмпирическим положениям характер теоретических законов и на этом выстроить теорию – делает имя Эйнштейна неповторимым.

1. Все эффекты специальной теории относительности (СТО) сохраняются: и постоянство скорости света независимо от характера движения источника света, изменение длин и времени в зависимости от скорости движения физической системы, и замечательная формула $E=mc^2$... Само понятие физической системы, следовательно, и природы физического объекта принципиально меняются.

2. Расширенные принципы относительности Эйнштейна

Если СТО – это поиски такой записи физических законов, которые были бы инвариантными согласно преобразованиям Лоренца и были бы инвариантными во всех инерциальных системах, то позднее Эйнштейн задался целью поиска такого рода записи законов, которые были бы инвариантами для всех физических систем, а не только для инерциальных систем.

Для систем, которые движутся с ускорением в любом направлении, по любой траектории, напомним, по каким признакам в классическую механику можно было отличить инерциальную систему от неинерциальной. Инерциальные системы – это системы, которые движутся прямолинейно и равномерно относительно друг друга и в рамках которых всё происходит таким образом, как будто они покоятся. В рамках классической физики легко отличить инерциальную систему от неинерциальной. Если система неинерциальна с точки зрения классической физики, то в ней появляются так называемые инерциальные силы. Для этих неинерциальных систем законы механики меняют свою форму и становятся неинвариантными. Основной закон механики $F=ma$ «не справедлив» для такого рода систем. Помимо тех сил, которые мы можем вычислить по формуле, действуют инерциальные силы (F – инерциальная). Основная идея общей теории относительности (ОТО) сводится к такой записи всех законов физики, чтобы для описания реальных физических процессов все системы были хороши, или, другими словами, любую физическую систему можно считать как покоящейся, так и движущейся [5]. Всё в ней должно происходить таким образом, как будто она покоится. Или, чтобы наше предположение о том, что наша система покоится, приводило бы нас к таким же результатам при описании реальных физических процессов, как и предположение, что она находится в ускоренном движении и по сложной траектории.

Опять срабатывает древняя идея о том, что Космос устроен рационально и предельно прост (по типу Спинозы). Такой Космос имеет неболь-

шой набор фундаментальных законов. Если их сформулировать в явном виде, то на этой основе можно было бы вывести дедуктивным образом все особенности этого рационально организованного Космоса. На смену Декартовых часов, Ньютоновых часов приходят Эйнштейновые часы, срабатывает прежняя философская традиция. Какая же более конкретная физическая идея позволила подойти к решению данной задачи? Нужно было объяснить появление инерционных сил, даже если системы покоятся. В принципе в классической физике всё сводилось к этой проблеме: есть инерциальные силы, значит, системы находятся в реальном, абсолютном движении, нет инерционных сил, значит, физическая система находится в относительном движении, т. е. движении относительно другой системы. Ключом в решении этой проблемы для Эйнштейна стал давно известный в физике эмпирический закон равенства или эквивалентности гравитационных и инерционных масс.

Как эмпирически обнаруженный факт постоянства скорости света Эйнштейн делает специфицирующим постулатом СТО, так и эмпирически найденный закон эквивалентности гравитационных и инерционных масс (Галилей, Ньютон, Этвеш) делает ведущим принципом ОТО. Очередной раз гениальный ход мысли! Тем самым общая теория относительности превращается в общую теорию тяготения. «Гравитационные уравнения общей теории относительности могут быть применены к любой системе координат. Выбрать какую-либо особую систему координат в специальном случае – дело лишь удобства. Теоретически допустимы все системы координат. Игнорируя тяготение, мы автоматически возвращаемся к инерциальной системе специальной теории относительности» [12, с. 196]. Конвенциональный ход мысли налицо. Проблема выбора в научном познании всегда сопряжена с конвенциональностью научного знания, а требования удобства, простоты, красоты и т. д. — это метафоры, в особенности, когда не хватает рациональных аргументов в пользу того или иного выбора.

3. Принцип эквивалентности гравитационных и инерционных масс

В классической физике разделение на гравитационную и инерционную массу не производилось. Такое отчетливое различие инерционных и гравитационных масс стало понятным только после создания теории относительности. Такое различие не делалось в эмпирических наработках и не учитывалось в классической физике, имелось в виду только какое-то количество массы или веса тела. Считалось, что вес и массивность тела – это одно и то же. Что такое гравитационная масса? Это тяжесть тела, которая заставляет физический объект стремиться упасть на Землю, более точно – это вес, который заставляет, принуждает тело стремиться к центру Земли. Это повседневный, обыденный, эмпирический факт в классической физике.

Что такое инерционная масса или инертная масса? Это свойство физических тел сопротивляться внешнему воздействию. По факту, инерционные и гравитационные массы – это различные свойства физических тел. Одно дело стремиться к центру Земли, другое – сопротивляться внешним воздействиям. Но оказывается, что способность сопротивляться внешним

воздействиям будет зависеть от массы тела прямо пропорционально. Все тела независимо от массы падают одинаково к центру Земли. Проведем такой мысленный эксперимент: поднимемся на башню на высоту не менее 100 м, имея с собой различные предметы, которые отличаются друг от друга массами, но не размерами (для чистоты эксперимента). Эксперимент будет проводиться в безвоздушном пространстве, чтобы исключить воздействия атмосферных явлений (ветер, перепад давления, температур и т. д.). Окажется, что все эти предметы с одинаковой скоростью будут стремиться к центру Земли, и достигнут поверхности Земли одновременно. Этот эксперимент нельзя объяснить иначе, чем равенством гравитационных и инерционных масс. Сила, которая заставляет падать тела по направлению к центру Земли, оказывается совершенно разной. Этот эксперимент заставляет думать, что тела обладают не только различными гравитационными массами, но и различными инерционными массами [6]. Мы зафиксировали, что силы воздействия на эти предметы различны, а то, что они падают с одинаковым ускорением и достигают Земли одновременно, объясняется тем, что тела, обладающие большей массой, сопротивляются воздействию гравитационного поля прямо в пропорциональной зависимости: чем больше масса тела, тем её способность сопротивляться к внешним воздействиям больше (в данном случае, воздействию гравитационного поля). Разница в инерционных массах компенсируется: чем больше инерционная масса, тем больше способность тела сопротивляться внешним воздействиям, тем на него больше воздействует гравитационная сила. К примеру, если первое тело в 10 раз тяжелее другого тела, то на него гравитационная сила действует в 10 раз больше, то, другими словами, первое тело в 10 раз больше сопротивляется гравитационной силе Земли. Это было зафиксировано еще в классической физике, и воспринималась как само собой разумеющийся факт (Галилей, Ньютон, Этвеш...). Эйнштейн придал этому факту статус теоретического постулата, основного закона ОТО.

Мыслительный эксперимент с лифтами. Представим себе два лифта с антигравитационной изоляцией, тогда эти лифты будут представлять идеальные инерциальные системы, все предметы, которые находятся внутри этих лифтов парят в невесомости. Теперь мы оставим первый лифт в покое с антигравитационным экраном, а второй лифт начнем тянуть вверх с ускорением свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. В этом случае в первом лифте тела продолжают парить в воздухе, а втором лифте все тела опустились вниз на пол лифта. Объяснить этот факт можно с различных двух точек зрения, с одинаковым успехом [7]. Первая, второй лифт находился в покое с антигравитационным экраном, и вдруг этот экран убрали, и все тела упали вниз, появилась сила тяжести, гравитации, которая заставила с одинаковым ускорением все тела опуститься вниз одновременно. Это объяснение для внутреннего наблюдателя, для внешнего наблюдателя – антигравитационный экран остается, но лифт начали тянуть с ускорением свободного падения, и вследствие этого возникли силы гравитации, которые заставили все тела

опустится вниз одновременно. Или совершенно другое объяснение: появились инерциальные силы, которые заставили опуститься все тела вниз, как следствие движение. В том и другом случае результат описания и сами описания будут идентичными. Это и было основной идеей ОТО.

Каким образом все эти эффекты в вышеизложенных примерах ОТО ведут нас к изменениям представлений о пространстве и времени?

В классической физике и в СТО пространство носит евклидовый характер, т. к. в фундаментальном пространственно-временном интервале Миньковского расстояние высчитывается по форме аналогично формуле Евклида. Говорят о псевдо-евклидовом пространстве в СТО только по той причине, что в эту форму Миньковского время входит со знаком минус. Напомним одну из записей этого пространственно- временного интервала Миньковского $\Delta f^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 - \Delta t^2$ где $\Delta t = c * t$.

Но это не единственный способ записи пространственно-временного интервала Миньковского.

4. Принцип эквивалентности гравитационных и инерционных масс и геометрия пространства

Когда Эйнштейн задумался над тем, какой должен быть математический аппарат новой теории – общей теории относительности, каким должно быть математическое обеспечение, то он был вынужден обратиться к тензорному исчислению. Любая физическая теория имеет дело с голым числом и измерением. Но как это выразить в новом понимании пространства и геометрии пространства? Сохранит ли свой статус евклидова геометрия и евклидово пространство?

За данными инновациями стоят не только новые физико-теоретические, физико-математические основания, но и новая методологическая программа – новый подход к построению физической теории, физика теперь уже не открывает мир, а изобретает, конструирует новую теорию [8]. За этим стоит новая мировоззренческая программа – новый взгляд на мир, включающий новые понятия, образы, в которых человек осознает мир, себя и своё место в этом мире. При ведении этих инноваций необходимо было сохранить и те преобразования, которые были получены специальной теорией относительности: сокращение длин твердых тел по направлению движения, замедление ритмов времени в движущихся системах, также сохраняется и пространственно-временной интервал четырехмерного континуума Миньковского, как своеобразное выражение евклидового многообразия в четырех измерениях. Напомним: фундаментальный вариант Миньковского можно записать следующим образом, $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 * t^2$. Другая форма записи $dx^2 + dx^2 + dx^2 + dx^2$. где $x^4 = \sqrt{-1}ct$. Независимо от формы записи пространственно-временного интервала запись Миньковского остается прежней, при переходе от одной движущейся системе к другой меняются пространно-временные координаты, а их соотношения остаются инвариантными.

Теперь попытаемся выяснить, сохранит ли свой статус геометрия Евклида и евклидово пространство в новой обобщенной физической теории, для которой фундаментален принцип равенства гравитации и инерции? При условии, что мы считаем, что любое движение относительное, а наличие в системе инерционных сил считать проявлением гравитационных сил. (С точки зрения классической физики наличие гравитационных сил свидетельствует о том, что система находится в абсолютном движении). Данные физические процессы не зависят от нашего предположения, покоятся ли эти системы или движутся [9]. Все реальные физические процессы должны быть объяснены одинаковым образом. И физик, предполагающий, что это система движется, должен получать такие же результаты, как и ученый, которые предполагает, что это система покоится.

С этой целью Эйнштейн проводит очередной мыслительный эксперимент: возьмем два круга, с равными диаметрами d_1 и d_2 , у нас есть твердые стандарты, жесткие стержни, с помощью которых мы измерим длину диаметра и окружности, длина диаметра 100 стержней, а длина окружности 314 стержней. Если разделить длину окружности на длину диаметра, то получим результат 3,14, что соответствует геометрии Евклида. Теперь мы предположим, что первый диск d_1 покоится относительно Земли, а второй диск d_2 вращается с очень большой скоростью. Еще раз произведем измерительную процедуру с помощью твердых стержней. В первом случае, где диск покоится d_1 , длина диаметра и окружности останутся прежними 3,14. Во втором случае длина диаметра останется прежней 100 стержней, т. к. он направлен перпендикулярно вращения диска. Теперь будем укладывать эти жесткие стержни. Масштабы по направлению вращения диска согласно СТО: для внешнего наблюдателя длина тел сокращается по направлению движения; внутренний наблюдатель, который укладывает стержни внутри диска по направлению движения, заметит, что уже не 314 твердых масштабов укладывается по линии вращения, а скажем, 350 стержней. Тогда соотношение длин диаметра и окружности будет не 3,14, а 3,5, что явно не соответствует геометрии Евклида. Это новое соотношение можно рассматривать, как результат вращения диска d_2 относительно диска d_1 , Земли и всего космоса. Возможен и другой вариант. Предположим, что поверхность диска вдоль окружности деформирована и тогда её длина исчисляется не по геометрии Евклида, а по геометрии Гаусса. Согласно принципу эквивалентности гравитационных и инерционных масс, мы можем предположить, что наш диск d_1 покоится, а весь остальной космос вращается вокруг диска d_2 и создает гравитационное поле, которое деформирует диск d_2 . Наличие гравитационных сил введет к изменению геометрических свойств тел и пространства. Так, к примеру, твердые стержни меняют свой масштаб, которым он бы обладал в пространстве, неподверженном гравитационному воздействию.

Подводя промежуточные итоги, можно сказать, что выстраивается новая физика и соответствующая новая теория, согласно которой всякое

движение относительно, а руководящая идея – факт равенства гравитационных и инерционных масс. Силы инерции отождествляются с силами гравитации, если это так и верны эффекты, полученные в СТО, это подскажет нам, что метрика пространства будет отличной от метрики евклидова пространства.

5. Новое понимания пространства и времени

Во Вселенной нет ни одной точки, ни одного сегмента, в котором бы не присутствовали гравитационные силы. Структура геометрических полей и структура реального пространства задаются математически обобщенной квадратичной формулой от четырех переменных, трех пространственных и одного временного компонентов.

ОТО утверждает, что эти записи означают гравитационные потенциалы, которые выражают структуру гравитационных полей, возникающих в окрестностях определенных масс во Вселенной. Локальные гравитационные структуры в окрестностях некоторой точки во Вселенной задаются локальным распределением гравитационных масс в окрестностях этих точек. Выражением чего и являются гравитационные потенциалы формальной записи. Только в отсутствие гравитирующих масс метрика пространства будет евклидовой (частный случай описания).

Так как в пространстве нет таких участков, где не присутствовали бы гравитационные поля, метрика реального пространства будет отличной от евклидовой. Более конкретный характер она будет иметь по причине конкретного соотношения гравитирующих масс.

Напомним еще раз новый принцип относительности, как его формулируют физики для самих себя, – все законы физики должны быть инвариантными для всех физических систем. В более популярной форме – всякое движение относительно [10]. Невозможно никакими физическими опытами обнаружить абсолютное движение. Собственными средствами системы невозможно определить, покоится она или движется, с какой скоростью и в каком направлении. В СТО речь идет о равномерном прямолинейном движении, а в ОТО это касается любого типа движения. Следствием явилось коренное преобразование понимания пространства и времени, как результат развития этих теорий.

В заключение можно попытаться дать определение пространства и времени согласно этим новым теоретическим представлениям. Пространство можно определить, как форму координации сосуществующих объектов, а время как форму координации, смены последовательностей событий. Можно попытаться дать метафизичное определение пространства и времени – форма бытия как дискретных объектов, так и мира в целом.

Список литературы

1. Борн М. Эйнштейновская теория относительности. М.: МИР, 1964. 45 с.
2. Каган В.Ф. Очерки по геометрии. М.: Издательство Московского университета, 1963. 572 с.

3. Комацу М. Многообразие геометрии / пер. с япон. М.: Знание, 1981. 208 с.
4. Коськов С.Н. Гуманизация знания и познания // Булгаковские чтения. 2008. № 2. С. 123–130.
5. Лебедев С.А., Коськов С.Н. Конвенциональность и консенсуальность научного знания как эпистемологическая норма // Журнал философских исследований. 2020. Т. 6, № 3. С. 12–21.
6. Лебедев С.А., Коськов С.Н. Философия науки и конвенционализм // Saarbrücken: Lap-Lambert, 2012. 174 с.
7. Левитин К. Геометрическая рапсодия. М.: «Знание», 1976. 144 с.
8. Либшер Д.Э. Теория относительности с циркулем и линейкой / пер. с нем. В.Е. Маркевича. М.: Изд. «Мир», 1980. 150 с.
9. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения / изд 2-е, дополн. М.: ГИФМЛ, 1961. 563 с.
10. Эйнштейн А. Собрание научных трудов: в 4 т. М.: Издательство «Наука», 1967.
11. Эйнштейн А. Физика и реальность. М.: «Наука», 1965. 359 с.
12. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М.: Наука, 1965. 327 с.

THE CONVENTIONAL NATURE OF THE CONSTRUCTION OF THE GENERAL THEORY OF RELATIVITY

S.N. Koskov

Turgenev Orel State University, Orel

The article demonstrates the ingenious thinking of A. Einstein. The conventional nature of the principles of the postulates of the theory of relativity is substantiated.

Keywords: *subject of scientific knowledge, scientific theory, convention, conventionality of knowledge, space, time.*

Об авторе:

КОСЬКОВ Сергей Николаевич – доктор философских наук, профессор кафедры философии ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», г. Орел. E-mail: koskov6819@gmail.com

Author information:

KOSKOV Sergey Nikolaevich – PhD (Philosophy), Professor, Professor of the Department of Philosophy, Turgenev Orel State University, Orel. E-mail: koskov6819@gmail.com

Дата поступления рукописи в редакцию: 16.10.2024.

Дата принятия рукописи в печать: 10.11.2024.