

520.12:531.18(09)

**ЭЙНШТЕЙН: СТАНОВЛЕНИЕ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
И НЕКОТОРЫЕ ГНОСЕОЛОГИЧЕСКИЕ УРОКИ****С. Г. Суворов**

I. Лоренц: его метод исследования. II. Эйнштейн: становление теории относительности. III. С чего же началась теория Эйнштейна? IV. Две линии: Пуанкаре — Эйнштейн. V. О различных формах описания. VI. Общие итоги.

В настоящей статье автор обсуждает вопрос о том, чем отличался метод исследования электродинамических явлений Эйнштейна от метода Лоренца, каково отношение Эйнштейна к конвекционалистскому методу Пуанкаре. Рассматривается вопрос о том, какую роль в исследованиях Эйнштейна играл опыт и как понимание им теории как единства примененных в ней переменных параметров привело его к формулировке и глубокой трактовке теории относительности (специальной) и ее следствий.

Автор полагает, что в таком рассмотрении есть необходимость, ибо, несмотря на продолжающийся рост публикаций исследований об Эйнштейне, тема «Эйнштейн и его метод в науке» далеко не исчерпана и не все, что публикуется, заслуживает поддержки. Но перейдем к конкретной теме.

В своих «Автобиографических заметках», написанных к 70-летию Эйнштейн обсуждал вопрос о соотношении опыта и теории. Об опыте он сказал так: «Первый критерий очевиден: теория не должна противоречить данным опыта» (1, с. 266). Уже это понимание необходимости единства опыта и теории дало в руки Эйнштейна мощную опору при оценке судьбы конкретных физических теорий. Теория нуждается во «внешнем оправдании», и опыт является критерием в таком оправдании.

Но высоко оценивая опыт как критерий «внешнего оправдания» теории, Эйнштейн одновременно отмечал тонкость его применения. «Дело в том, что часто, если не всегда, можно сохранить данную общую теоретическую основу, если только приспособлять ее к фактам при помощи более или менее искусственных дополнительных предположений» (гипотез).

Уже в этих суждениях Эйнштейна явно проступает дерзкая мысль, что «данную общую теоретическую основу» не всегда следует и сохранять.

Но сколь большую роль играла эта проблема в развитии физики — проблема сохранения общей теоретической основы путем введения более или менее искусственных гипотез? Безусловно, немалую: по существу это был метод, широко применявшийся в классической доэйнштейнианской физике. Со времен Ньютона в ней было известно положение: в силу закона инерции тело движется прямолинейно и равномерно; если в частном случае тело движется иначе, это означает не то, что перестал действовать закон инерции, а то, что существует некая причина — сила, отклоняющая тело от присущего ему инерциального движения; ставится задача ее найти. Такой метод, — в основе которого лежит признание, что исходный закон *продолжает действовать*, но его действие *подавляется* неизвестными нам

факторами, и надо искать причины этого, — был характерен для классической физики. Не только в механике, но и в областях более сложных явлений при обнаружении новых результатов опыта, противоречащих существующим представлениям, часто применялся такой прием: само исходное представление сохранялось, но вводилась гипотеза, которая снимала возникшее противоречие. Так практически представлялось решение задачи теоретического постижения природы — методом последующего усложнения теоретической схемы введением новых подходящих гипотез.

Сам Эйнштейн не приводил конкретного примера того, как применялся этот метод. Но вряд ли будет ошибкой считать, что в его сознании вставал при этом исторический пример, с которым он когда-то столкнулся, — пример развития электродинамики движущихся тел в работах физики конца XIX и начала XX века, и наиболее выпукло — в работах Лоренца. Этот пример мы рассмотрим подробнее, он позволит и осветить один из аспектов соотношения теории и опыта, очень важный в историческом и логическом отношении, и более четко обрисовать особенности метода самого Эйнштейна.

1. ЛОРЕНЦ: ЕГО МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Неподвижный эфир как абсолютная система отсчета. Когда Лоренц приступил к физическим исследованиям, новой и прогрессивной (далеко еще не всеми признанной) была теория электромагнитного поля Максвелла. Сам Максвелл полагал, что электромагнитные колебания суть особые состояния некоторой мировой среды — эфира, и пытался выяснить особые свойства этой среды. Идея о наличии особой среды — носителя электромагнитных колебаний, — несомненно, появилась под влиянием успехов гидродинамики, получившей блестящее развитие в трудах механиков и математиков первой половины XIX века — Навье, Коши, Пуассона, Остроградского и других. Наличие эфира признавали едва ли не все физики. Споры шли лишь о свойствах эфира, в частности о том, является ли эфир неподвижным или же увлекается движущимися телами. Лоренц принял концепцию неподвижного эфира: она хорошо согласовывалась с достоверно установленным явлением абберации звезд (видимое годичное смещение звезды). Абберация рассматривалась как простой результат геометрического сложения двух скоростей — «абсолютной» (т. е. по отношению к неподвижному эфиру) скорости света, идущего от звезды, и «абсолютной» скорости Земли.

Неподвижный эфир и связанная с ним абсолютная система отсчета, а также абсолютное универсальное время явились исходной посылкой всех последующих рассуждений Лоренца.

Пока эта схема опиралась на базу оптических явлений, в ней находили непосредственное объяснение только явления типа абберации. Но уже с объяснением опытов Френеля — Физо, в которых измерялась скорость света в движущихся прозрачных средах, дело обстояло сложнее. В них не получалось векторного сложения скоростей света и среды, выявилось наличие «коэффициента частичного увлечения эфира» движущейся средой, так что скорость увлечения имела вид $v \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$, где v — скорость движущейся среды, а n — показатель преломления света для этой среды. Формула Френеля поражала загадочностью: неясно было, как понимать «частичное увлечение», а появление в формуле коэффициента преломления среды не получало удовлетворительного объяснения. Только развитие электродинамики Максвелла и ее дальнейшее углубление Лоренцем позволило преодолеть возникшие трудности.

После открытия элементарных зарядов естественно было считать их источниками элементарных электромагнитных полей. Лоренц связал эти поля с электромагнитным макроскопическим полем Максвелла. Напряженность макроскопического поля Лоренц рассматривал как результат усреднения соответствующих напряженностей элементарных полей.

Такой подход позволил Лоренцу связать поля со свойствами вещества, что явилось крупным вкладом в развитие электродинамики.

Теория Лоренца полностью сохраняла исходную картину — неподвижный эфир, в котором реализовались электромагнитные поля. Эфир рассматривался как обычный диэлектрик, с тем отличием, что для него диэлектрическая постоянная ϵ и магнитная проницаемость μ принимали предельные значения, равные единице. Возбуждаемые электронами поля распространяются, по Лоренцу, в том же неподвижном эфире, и уравнения их имеют тот же вид, что и уравнения Максвелла для макрополя; в них лишь учитываются свойственные веществу заряд, конвекционный ток и поляризация.

С позиции электронной теории Лоренца удалось объяснить ряд важных фактов — электронной магнитооптики, цветной дисперсии, магнитного вращения плоскости поляризации и другие, в частности рационально, в аспекте электродинамики, раскрыть загадочный коэффициент Френеля.

Все это укрепляло уверенность Лоренца в правильности его исходной позиции. Эта позиция подверглась испытанию позднее, когда возникла проблема создания электродинамики движущихся тел.

Опыт Майкельсона. Контракционная гипотеза. Новые трудности. Однако на пути успешного развития идей Лоренца стоял эксперимент нового типа — интерференционный опыт Майкельсона. Ожидалось, что в этом опыте будет обнаружен эфирный ветер, чем и подтвердилась бы непосредственным образом исходная концепция Лоренца; результат опыта показал, что эфирного ветра нет. Казалось, что опыт Майкельсона опроверг концепцию абсолютно неподвижного эфира. Тем не менее Лоренц удержал эту концепцию; он объяснил результат Майкельсона *в духе своей исходной посылки* (абсолютное пространство и время, покоящийся эфир). Это было возможно при условии принятия дополнительной («контракционной») гипотезы, утверждающей, что все тела сокращаются в направлении движения в отношении $k = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$, где v — скорость движения тела, а c — скорость света.

Контракционная гипотеза объясняла отсутствие эфирного ветра в опыте Майкельсона. Но она приводила и к некоторым физическим следствиям. Контракция Лоренца представляет собой анизотропное изменение линейных размеров движущегося тела. Но появление анизотропии в теле должно было бы вызвать некоторые электромагнитные явления, например двойное лучепреломление в прозрачных телах, возникновение момента импульса при движении заряженного конденсатора. Однако эксперименты Рэлея, Брэса, Трутона, Нобля показали, что таких явлений не наблюдается. Ситуация вновь повторилась: ожидалось определенные результаты экспериментов, а они не появились.

Теперь перед Лоренцем встала еще более сложная проблема: сохраняя прежние исходные предпосылки об абсолютной системе отсчета, сохраняя также контракционную гипотезу, как объяснение отрицательного результата опыта Майкельсона, вместе с тем объяснить, почему электродинамические явления, которые должны возникать в движущихся телах вследствие анизотропии, тем не менее *не наблюдаются*.

Теорема о «соответственных состояниях». Проблема структуры тел. Проблема времени. Чтобы решить новую проблему, Лоренц в конечном счете сделал новое предположение: в телах — абсолютно неподвижном и движущемся (относительно покоящегося эфира) — должны существовать «соответственные состояния». Входящие в уравнения одноименные электродинамические переменные в соответственных состояниях различаются тем, что в покоящемся теле они отнесены к абсолютно покоящейся системе (эфиру), в движущемся — они принимают «местное» значение. Но связь между переменными в движущемся теле должна сохраняться та же, что и между абсолютными значениями переменных, иначе говоря, уравнения поля для соответственных состояний должны быть инвариантны. Только это требование приводит к тому, что в движущемся и анизотропно меняющем свои линейные размеры теле измерения дадут тот же результат, что и в теле покоящемся, т. е. какие-либо новые электродинамические явления наблюдаться не будут.

Естественным было найти связь переменных в движущемся теле с абсолютными, т. е. найти «формулы преобразования». Но в уравнениях Максвелла входят частные производные напряженностей полей (E, H) не только по координатам, но и по времени. Это формальное обстоятельство требует преобразования также и времени, без которого достигнуть инвариантности формы уравнений соответственных состояний в двух системах невозможно. Преобразованное время t' в движущейся системе Лоренц назвал «местным» временем (Ortzeit) *).

Таким образом, в своих поисках объясняющих гипотез Лоренц в конце концов пришел к идее о соответственных состояниях. При ретроспективном рассмотрении этой идеи нам представляется, что Лоренц здесь ближе всего подошел к концепции релятивистской физики,

Однако Лоренц считал, что идея о соответственных состояниях — всего лишь теорема, справедливость которой еще надо доказать. С точки зрения Лоренца, это означало: надо доказать, что и в измененной конфигурации движущегося тела устанавливается равновесие всех действующих сил, известных из классической физики. На это была направлена вся энергия ученого. Но на этом пути Лоренца ожидали непреодолимые трудности. Во-первых, для решения такой задачи нужно было знать структуру тела в деталях, природу всех действующих в нем сил и сами законы их взаимодействия; однако уже о структуре электрона можно было строить только гипотезы; она и теперь все еще остается предметом исследований **).

*) В статье 1904 г. Лоренц так сформулировал «теорему о соответственных состояниях» (не называя ее): «Когда в системе без поступательного движения возникает состояние движения, для которого в определенном месте компоненты векторов p, d и h являются определенными функциями времени, тогда в той же системе, после того как она приведена в движение (и, следовательно, деформирована), может возникнуть состояние движения, при котором в соответствующем месте компоненты векторов p', d', h' будут теми же функциями местного времени» (см. ²). Название теоремы дано Лоренцем в книге ³, в которой она почти дословно повторяется (см. гл. V, пп. 162, 174, 175.).

**) О структуре электронов в тот период было высказано немало противоречивых гипотез, наивность которых в свете нашего времени кажется очевидной. Лоренц явно сознавал шаткость этих гипотез; в лекциях по теории электронов (1906), изданных в 1909 и 1915 гг., он высказался так: «... Было бы, по моему мнению, вполне законно придерживаться гипотезы деформируемых электронов, если бы таким путем мы могли действительно продвинуться вперед в понимании явлений. При теоретических суждениях о строении этих мельчайших частичек мы не должны забывать, что может быть много таких возможностей, которые мы сейчас не можем себе представить; весьма вероятно, что имеются другие внутренние силы, служащие для придания системе устойчивости; наконец, возможно, что мы вообще стоим на ложном пути, когда пытаемся применить к отдельным частям электрона наше обычное понятие силы» (³, с. 312).

Во-вторых, положение осложняло новое понятие — «местного» времени; введение его было принудительным, иначе рушилась бы вся идея о соответственных состояниях; но рассмотреть связь времени с изменением конфигурации тела было невозможно, поскольку в классической физике время рассматривалось как переменная, не зависящая ни от каких физических условий, т. е. оно считалось универсальным и абсолютным. Поэтому Лоренц считал t' чисто вспомогательной «математической» величиной и всегда признавал, что он не придавал значения этой переменной, которая играла «только» ту роль, что она позволяла сформулировать инвариантное выражение уравнений поля при переходе от одного соответственного состояния к другому. Так, в 1915 г. Лоренц, отмечая, что ему не удалось достигнуть такой простоты теории электромагнитных явлений, какой достиг Эйнштейн, писал: «Главная причина моей неудачи заключалась в том, что я всегда придерживался мысли, что только переменную t можно принимать за истинное время и что мое местное время t' должно рассматриваться не более как вспомогательная математическая величина» (3, прим. 72). Лоренц никогда не отказывался от этого признания. Примерно за год до своей кончины, на конференции в Вильсоне в 1927 г. он заявлял 4:

«Преобразование времени было также необходимо. Поэтому я ввел концепцию местного времени, которое является разным для разных систем отсчета, движущихся относительно друг друга. Но я никогда не думал, что это имеет какое-либо отношение к реальному времени. Это реальное время все еще представлялось мне в старых классических понятиях абсолютного времени, которое не зависит ни от каких специальных систем координат. Для меня существовало только одно истинное время. Я рассматривал свое преобразование времени только как эвристическую рабочую гипотезу» (13, прим. 72).

Лоренц об авторстве теории относительности. Все это говорит о том, что свою «теорему о соответственных состояниях» Лоренц вовсе не отождествлял с принципом относительности, а рассматривал ее в духе своего метода как очередную «эвристическую рабочую гипотезу». Но привлечение этой гипотезы приводило к непреодолимому противоречию с исходной концепцией абсолютного пространства и времени, которой Лоренц придерживался до конца своей жизни. И не случайно авторство теории относительности, которая оставалась ему чуждой по духу, он отдавал Эйнштейну.

Сопшемся на Макса Борна, который был ассистентом Лоренца на его лекциях в Гёттингене в 1910 г. и имел возможность вести с ним дискуссию. Борн утверждал: «Сам Лоренц никогда не претендовал на авторство в открытии принципа относительности». В опубликованных им лекциях 7, — свидетельствует далее Борн, — Лоренц говорит о «принципе относительности Эйнштейна». «Этого вполне достаточно, — заключал Борн, — чтобы показать, что сам Лоренц считал основоположником принципа относительности Эйнштейна. На той же странице, а также в последующих разделах имеются другие замечания, которые показывают нежелание Лоренца расстаться с идеей абсолютного пространства и времени. Когда я посетил Лоренца за несколько лет до его смерти, он еще не отказался от скептического отношения к принципу относительности» (8, с. 320, 321).

Но существует и свидетельство самого Лоренца: то высказывание на конференции в Вильсоне в 1927 г., которое приведено на этой странице, Лоренц заключает: *«Итак, теория относительности является фактически работой исключительно Эйнштейна»*. Это не просто проявление скромности крупного ученого, как это иногда объясняют, причины здесь глубже. Создается впечатление, что Лоренц не только не претендовал на авторство, но и не хотел, чтобы его имя связывали с теорией относительности.

Заключение. Характерные черты метода «нарастания гипотез». Для метода сохранения теоретических основ при помощи введения все новых гипотез (метода «нарастания гипотез») характерны следующие черты.

На каком-то историческом этапе познания определяются исходные теоретические представления об исследуемом объекте или об определенной области явлений. Эти представления создаются не на пустом месте; в их основе лежит некоторый опыт, возникший на этом этапе познания. В дальнейшем развитии науки эти теоретические представления приобретают характер незыблемых, они защищаются как обоснованные опытом.

Однако определенный класс опытов, на почве которого эти представления возникли, был неизбежно ограничен. Естественно, что он не заключал в себе новые классы опытов, возникающие в процессе дальнейшего познания. Результаты вновь возникающих опытов воспринимаются как независимые, притом рассматриваются в свете исходной системы представлений. Вследствие этого новые знания просто добавляются к уже накопленному знанию. Если результат нового опыта встает в противоречие с исходными теоретическими представлениями, то исследователю ничего не остается делать, как создавать гипотезы, задача которых — сохранить исходную систему представлений, но снять противоречия, объяснить их особенностями хотя еще и непознанной структуры, обосновать, почему сформулированные ранее законы хотя и действуют, но не проявляются.

В гносеологическом плане важно подчеркнуть, что этот метод, сохраняющий исходные основы теории, рассматривает процесс познания как процесс аддитивный, т. е. как простое суммирование отдельных результатов. Такое понимание процесса познания никогда не приведет к отображению объекта познания как целостного единства всех его взаимодействующих сторон, не приведет к качественно новому уровню познания объекта. Теоретические возражения против понимания процесса познания как процесса аддитивного были выдвинуты еще Гегелем, и В. И. Ленин поддержал и развил эти возражения¹⁰ *). Современная наука все более приходит к выводу о необходимости охвата мышлением объекта в его целостности.

Не случайно Лоренц, близко подошедший к новой концепции физического релятивизма через идею о соответственных состояниях, но так и не осознавший необходимости и обоснованности этой концепции, не мог постигнуть идеи о равноправности всех времен t, t', t'', \dots в различных инерциальных системах K, K', K'', \dots , а еще точнее сказать: не мог постигнуть идеи о том, что для любой инерциальной системы существует собственный базис пространственно-временных переменных — $x, y, z, t; x', y', z', t', \dots$, *изменяющихся совокупно*, и что ни один из этих базисов природа не выделила по сравнению с другими.

В гносеологическом аспекте любая из этих переменных столь же равноправна, как и остальные, и значит, непоследовательно считать время в какой-либо инерциальной системе «вспомогательной математической величиной», а координаты — реальными.

Как мы увидим ниже, проблему электродинамики движущихся тел Эйнштейн решал иными путями, нежели Лоренц.

II. ЭЙНШТЕЙН: СТАНОВЛЕНИЕ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Электродинамика Максвелла — исходная предпосылка. В исследованиях, которые привели Эйнштейна к теории относительности, он опирался на электродинамику Максвелла, которой дал правильную трактовку, вопреки общепринятой. Электродинамика Максвелла заняла в физике

*) Подробнее этот вопрос освещается в статье автора¹¹, с. 567, 568.

особое место, и здесь уместно напомнить ее основные черты и некоторые этапы, которые она прошла к своему окончательному утверждению.

Как уже отмечалось, крайне важно то обстоятельство, что электродинамика Максвелла сформулирована для вакуума в форме системы уравнений, связывающих частные производные напряженности полей \mathbf{E} и \mathbf{H} по координатам и времени; эта математическая форма выражает тот факт, что все входящие в систему уравнений переменные *взаимосвязаны* и *только в этой взаимосвязи отражают целостный физический процесс*. В дальнейших выводах это окажется решающим.

Сформулированная вначале как теория, описывающая взаимосвязь электрических и магнитных явлений, обстоятельно до того исследованных Фарадеем, теория Максвелла за короткий срок проделала огромный путь обобщения за пределы узкой области электромагнетизма и широко внедрилась в технику.

Прежде всего она охватила также и оптические явления, «серьезным основанием»¹², чему послужил тот факт, что входящая в систему электродинамических уравнений константа, характеризующая отношение электростатических единиц к электромагнитным, обладала размерностью скорости, а величина ее совпадала, в пределах ошибки измерений, со скоростью света. Установление единства электромагнитных и оптических явлений резко увеличило многообразие экспериментов в области оптики, возрос класс их точности. Наиболее важным следствием максвелловской системы уравнений было подсказанное еще Максвеллом явление распространения электромагнитных волн. Распространение волн было экспериментально подтверждено Генрихом Герцем; позднее оно стало основой радиовещания.

Дальнейшее обобщение электродинамики Максвелла Лоренцем связало свойства поля со свойствами вещества, несущего заряд. Как и система уравнений Максвелла, уравнения Максвелла — Лоренца не содержали каких-либо скоростей тел, и при определенных значениях характеристических параметров для вакуума система максвелл-лоренцевых уравнений превращалась в систему уравнений Максвелла. Успехи электронной теории Лоренца, охватывающей электромагнитные явления во всех материальных средах, естественно, представлялись как подтверждение электромагнитной теории Максвелла.

Были, конечно, и попытки сформулировать уравнения электродинамики для движущихся тел. Следуя методу Максвелла, Герц вычислял поток энергии через замкнутый контур, перемещающийся в поле со скоростью \mathbf{u} . По Герцу, поток энергии должен зависеть от этой скорости, и в его уравнениях появились дополнительные члены. При $\mathbf{u} = 0$ уравнения Герца превращались в уравнения Максвелла, но для вакуума они не совпадали с уравнениями Максвелла. Таким образом, Герц создал новую электродинамику. Однако она встала в противоречие как с оптическими опытами, так и с результатами новых электромагнитных исследований.

Ввиду сказанного теория Герца отпала. Вместе с тем отпал метод выведения электродинамических уравнений, опирающийся на предположение об изменении потока через замкнутую поверхность при *передвижении* тела из одной области в другую, отпали попытки решить проблему электродинамики движущихся тел путем изменения формы уравнений Максвелла для предельного случая — вакуума.

В последней четверти XIX и в начале XX веков было проведено множество исследований различных электромагнитных явлений (опыты Рентгена, Роуленда, Уильсона, Эйхенвальда, Троутона, Нобля и других). Электродинамика Максвелла — Лоренца неизменно получала подтверждение. Этот результат высоко оценивал Эйнштейн. Возвращаясь позднее

к оценке ее исторической роли, он подчеркивал значение ее достижений в теоретическом описании опытов в области электродинамики и оптики, которые приводили к выводу, что «основы этой теории следует считать столь же окончательно установленными, как, например, уравнения классической механики. *Не удалось также и поставить рядом с этой теорией другую, которая могла бы хоть в какой-то степени соперничать с нею*» (13, с. 386; курсив наш.— С. С.).

К началу XX века макроскопическая электродинамика Максвелла — Лоренца выступала как адекватная природе теория, завоеванная человеком ступень познания, которая служила отправным пунктом, одной из предпосылок для последующего развития знания.

Эйнштейн: новая оценка «безуспешных попыток» обнаружить абсолютное движение. Уже в первой статье 1905 года Эйнштейн подчеркивал, что свободную от противоречий электродинамику движущихся тел можно построить, «*положив в основу теорию Максвелла для покоящихся тел*» (13, с. 8; курсив наш.— С. С.). Он неоднократно повторял мысль, что «специальная теория относительности возникла из максвелловских уравнений электромагнитного поля» (14, с. 416, а также 13, с. 551).

Однако Эйнштейн указывал на необходимость правильной трактовки теории Максвелла в *противовес общепринятой*. Основную статью 1905 г. он начинает предложением: «Das die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefasst zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt». («Известно, что электродинамика Максвелла, как ее в настоящее время обыкновенно толкуют, в применении к движущимся телам приводит к асимметрии, которая, по-видимому, несвойственна самим явлениям») *).

Что же имеет в виду Эйнштейн, говоря о толковании электродинамики, приводящей к асимметрии, *несвойственной самим явлениям*?

Речь идет о распространенном объяснении причин появления тока в замкнутом проводнике при взаимодействии его с магнитом: обычно указывают одну причину, когда «движется магнит», и другую, когда «движется проводник». Эйнштейн отмечает принципиальное значение простого наблюдения: в обоих случаях результат — сила и направление тока — получается одинаковый, если одинаково *относительное* движение проводника и магнита, налицо не два случая, а один.

Этот простой, повседневно наблюдающийся в электротехнике, факт Эйнштейн ставит в один ряд с широко обсуждавшимися в среде физиков «безуспешными попытками» (die misslungenen Versuche) обнаружить движение Земли относительно «светоносной среды»; хотя Эйнштейн и не называет эти попытки, но ясно, что среди них мог подразумеваться и опыт Майкельсона, но и не только он, а также и ряд других многообразных электромагнитных опытов, в которых, против ожидания, не выявлялось ни прямого влияния «эфирного ветра», ни особой роли единственной абсолютной системы, в которой якобы реализуется абсолютное движение.

Первая и важнейшая заслуга Эйнштейна перед наукой состоит в том, что, отрешившись от груза общепринятых представлений, он взглянул

*) В Собрании научных трудов Эйнштейна это важное место переведено неточно: вместо подчеркнутого в тексте определения в переводе говорится об электродинамике Максвелла «в современном ее виде» (13, с. 7). Вследствие такого перевода последующий текст воспринимается как упрек в адрес теории Максвелла. Между тем в оригинале речь идет именно о *трактовке* электродинамики Максвелла. Эйнштейн не считал, что электродинамика Максвелла может привести к противоречию с явлениями, и не ставил себе целью менять ее вид; напротив, он искал условие ее инвариантности.

на безуспешность всех этих попыток с новых позиций; он признал и их не только закономерными, но и достаточными для формулировки важнейших положений, из которых следует исходить при построении «свободной от противоречий электродинамики движущихся тел». Речь идет о двух принципах — принципе относительности и принципе постоянства скорости света в вакууме.

Эйнштейн о принципах как результате обобщения опытных фактов. Но прежде чем перейти к рассмотрению двух принципов Эйнштейна, нужно сказать о том, что он вообще понимал под принципами, с чем связывал их происхождение.

Мы помним скепсис Лоренца по поводу принципа относительности; отмечая главное различие своего пути решения проблемы электродинамики движущихся тел и пути Эйнштейна, Лоренц писал с некоторой иронией: «...Эйнштейн *просто постулирует* то, что мы старались, с некоторыми затруднениями и не всегда вполне удовлетворительно, вывести из основных уравнений электромагнитного поля. При этом он, конечно, требует от нас, чтобы мы *заранее верили*, что отрицательный результат опытов, подобных опытам Майкельсона, Рэлея и Брэса, является не случайной компенсацией противоположных эффектов, но выражением общего и основного принципа» (3, с. 333; курсив наш. — С. С.) *).

Однако под принципами Эйнштейн понимал не некие априорные рационалистические суждения, в истинность которых следует «заранее верить»; напротив, он видел в них *результат обобщения из всей совокупности известных опытных фактов*, обобщения, без которого невозможно делать какие-либо теоретические выводы.

Именно этой проблеме обобщения массового опыта, как метода теоретической физики, Эйнштейн посвятил вступительную речь при избрании его в Прусскую Академию наук в 1914 г. Он утверждал в ней, что единственный опыт ничего не говорит теоретику; исследователь должен «выведать у природы четко формулируемые общие принципы, *отражающие определенные общие черты огромного множества экспериментально установленных фактов*. Если такая формулировка удалась, начинается развитие следствий, которые часто дают непредвиденные соотношения, ведущие далеко за пределы области фактов, из которых были получены принципы. Но до тех пор, пока принципы, могущие служить основой для дедукции, не найдены, отдельные опытные факты теоретику бесполезны, ибо он не в состоянии ничего предпринять с отдельными эмпирически установленными общими закономерностями» (1, с. 14—15; курсив наш. — С. С.).

Это замечание, направленное против эмпиризма, очень характерно для метода Эйнштейна. Именно этот метод он использовал при анализе сложившейся ситуации в области электродинамики движущихся тел. Он задумался над вопросом, почему в многочисленных многообразных экспериментах, на всех уровнях точности их выполнения, всегда оказывается невозможным обнаружить влияние относительного движения Земли, можно ли пытаться сохранять существующую теорию с помощью введения априори маловероятных гипотез? Не ищем ли мы то, чего не существует? Позднее он сформулировал эти мысли так: «Можно ли действительно думать, что вследствие любопытной случайности законы природы представляются нам таким необычным образом, что ни один из них не позволяет изучить быстрое движение нашей планеты через эфир? Не правда ли,

*) Далее в тексте следует попытка «кое-что сказать в пользу и того способа», которым сам Лоренц «старался изложить свою теорию». Лекции Лоренца опубликованы в 1909 г.

было бы более правдоподобным допустить, что нас завело в тупик какое-то ошибочное соображение?»¹³, с. 143). Многочисленные факты привели к обобщению: природа такова, что инерциальное (или почти инерциальное) движение не оказывает влияния на физические процессы. Это был шаг к принципу относительности.

Пуанкаре: принцип относительности как невозможность установления абсолютного движения. В период, когда проблема электродинамики движущихся тел стала актуальной, вопрос о роли и сущности принципа относительности обсуждался в физических кругах довольно широко. До Эйнштейна наибольшее значение этому принципу придавал А. Пуанкаре, которого некоторые авторы считают одним из создателей основ теории относительности, поскольку среди этих основ принцип относительности — несомненно важнейший.

Главный смысл этого принципа Пуанкаре видел в исключении любой процедуры измерения абсолютных свойств движения. Согласно Пуанкаре, ни опыт, ни интуиция не дают основания измерять абсолютные промежутки времени, абсолютную, единую для разноместных событий одновременность, абсолютные скорости и т. п. В некоторых случаях Пуанкаре просто декларирует относительность: «1. Абсолютного пространства не существует, мы знаем только относительное движение.... 2. Не существует абсолютного времени. Утверждение, что два промежутка времени равны, само по себе не имеет смысла, и можно принимать его только условно», — так писал Пуанкаре в 1902 г. в книге «Наука и гипотеза»⁶). Впрочем, в этой книге имеется и другая формулировка: «Движение всякой системы должно подчиняться одним и тем же законам, независимо от того, относим ли мы его законы к неподвижным осям или к подвижным, перемещающимся прямолинейно и равномерно. Это — принцип относительного движения, обязательный для нас по двум причинам: во-первых, его подтверждает самый обыденный опыт, и, во-вторых, противоположное допущение совершенно не укладывалось бы в уме»⁶, с. 23—24). Однако последующие рассуждения показывают, что выводы, которые сделал Пуанкаре из этой формулировки, идут не дальше примеров из классической механики и заключения, что из принципа относительности следует, будто «удобнее предположить, что Земля вращается, потому что тогда законы механики выражаются более простым языком»⁶, с. 26).

В известном докладе в Сент-Луисе, прочитанном в сентябре 1904 года, уже после того, как основоположный доклад Г. Лоренца был опубликован (май 1904 г.), Пуанкаре дал наиболее развернутую формулировку принципа относительности: согласно этому принципу «законы физических явлений должны быть одинаковыми для неподвижного наблюдателя и для наблюдателя, совершающего равномерно поступательное движение, так что мы не имеем и не можем иметь никакого способа определять, находимся ли мы в подобном движении или нет»⁶, с. 30; курсив наш. — С. С.).

Здесь мы видим, что Пуанкаре расширил формулировку принципа относительности, отмечая, что он включает требование *одинаковости законов физических явлений* для покоящегося и инерциально движущегося наблюдателей. Однако он по-прежнему видит значение принципа только в том, что благодаря ему не существует способа отличать состояние абсолютного покоя от инерциального движения; именно на это и указывается во второй части предложения.

⁶) Цитируется по сборнику⁶ (с. 23). Далее в тексте указаны страницы по этому изданию.

Что именно в этом Пуанкаре видел сущность принципа относительности, подтверждается и тем, что основной смысл исследования Лоренца (статья 1904 г.) он видел в том, что тот, хотел он того или нет, нашел физические доводы, почему даже в столь предельно точном эксперименте Майкельсона абсолютное движение не было обнаружено (хотя с точки зрения Лоренца оно существует). В тот период ломки представлений о физических законах многие физики заговорили о наступлении эпохи кризиса принципов и о том, что новые электродинамические эксперименты будто бы «пробивают брешь» и в отношении принципа относительности. В этой ситуации Пуанкаре считал очень важным появление теории, которая могла рассматриваться как подтверждение идей Пуанкаре о том, что не существует способа определять, находится ли наблюдатель в абсолютном покое или в инерциальном движении. Такую задачу и выполняла теория Лоренца. Правда, Пуанкаре сетует на то, что Лоренц справился со своей нелегкой задачей только путем «пагромождения гипотез». Среди них «наиболее хитроумной была идея местного времени» — времени в движущейся системе. Пуанкаре указывает, как можно отрегулировать часы в этой системе. «Часы, отрегулированные таким образом, не будут показывать *истинное время*. Они показывают так называемое *местное время*. Одни из них отстают. Это не имеет большого значения, поскольку у нас нет средств заметить это. Все явления, которые происходят, например, в пункте А, будут запаздывать, но все останется точно таким же, и наблюдатель не заметит этого, поскольку его часы отстают. Таким образом, как этого требует принцип относительности, у наблюдателя не будет никакой возможности узнать, находится ли он в покое или в абсолютном движении» (6, с. 34; курсив в двух последних предложениях принадлежит нам. — С. С.). «К несчастью, — продолжает Пуанкаре, — этого недостаточно, и требуются дополнительные гипотезы» — речь идет о контракционной гипотезе. А та в свою очередь требует новой «гипотезы относительно сил»: все силы независимо от их природы уменьшаются, и так как они «уменьшаются в равной пропорции, то мы ничего не замечаем». «Итак, — заключает Пуанкаре, — в последнее время принцип относительности мужественно отстояли, но сама энергия этой защиты показывает, насколько серьезна была атака» (6, с. 35).

В статье «О динамике электрона» (1906) Пуанкаре называет постулатом относительности «невозможность показать опытным путем абсолютное движение Земли», и эта невозможность «представляет, по-видимому, общий закон природы» (6, с. 118). В этой статье Пуанкаре рассматривает вопрос о том, насколько теория Лоренца, изложенная в статье 1904 года, соответствует этому закону. Подводя итог тому, как в этой теории проанализирована электромагнитная картина представлений, Пуанкаре писал: «Итак, теория Лоренца полностью объясняет невозможность показать опытным путем наличие абсолютного движения в случае, если все силы будут электромагнитного происхождения. Однако существуют силы, которым нельзя приписать электромагнитное происхождение, как, например, силы тяготения... Поэтому Лоренц вынужден был дополнить свою гипотезу предположением, что *силы любого происхождения, и в частности силы тяготения, ведут себя при поступательном движении (...) совершенно так же, как электромагнитные силы*» (6, с. 152).

Пуанкаре допускает, что обоснование невозможности обнаружения абсолютного движения (т. е. обоснование принципа относительности) может быть получено разными путями. Можно совершенствовать теорию Лоренца, упростить ее, исследовать ее более глубокие следствия и т. п., к этому именно и стремился Пуанкаре, в совершенстве владевший математическими знаниями того времени; он считал это полезным неза-

висимо от дальнейшей судьбы теории Лоренца, ибо полагал, что ни одна теория не проходит бесследно для последующего развития науки. Но Пуанкаре *не исключал возможности замены системы гипотез Лоренца другой системой гипотез*, более простой или более естественной; одну из таких гипотез он пытался наметить еще в докладе в Сент-Луисе. Эта гипотеза, — она, конечно, не разработана в деталях, — опирается на допущение, что «эфир видоизменяется, когда движется относительно погруженной в него материальной среды: что, изменившись, он уже более не передает возмущения во все стороны с одной и той же скоростью». Если возмущения по направлению движения среды будут передаваться быстрее, чем в поперечном, то «можно было бы обійтись без столь необычного сжатия тел» (как это предполагается в гипотезе Лоренца). Эта гипотеза, вероятно, потребовала бы введения каких-то дополнительных гипотез, но возможно они были бы проще. Пуанкаре оговаривается: «Я привожу это лишь в качестве примера, поскольку видоизменения, которые можно было бы испытывать, безусловно *допускают бесконечно много вариаций*» (⁶, с. 40; курсив наш. — С. С.).

Из сказанного следует, что главную проблему, стоявшую перед физиками в области электродинамики движущихся тел, Пуанкаре видел в создании такой теории, которая показала бы, что нет средств установить абсолютное движение, абсолютное время: можно построить множество вариантов физических гипотез, применяя их в различных инерциальных системах, исследователь должен прийти к выводу, что ни в одной системе не будет обнаружено абсолютное движение, так как физические теории в них по своей форме не отличаются друг от друга.

И этот вывод есть *конечная цель* исследований Пуанкаре. Что касается различных исходных гипотез (укорачивается ли тело при движении, или видоизменяется эфир, становясь анизотропным, или принимается какая-либо иная картина), то это только принятые по соглашению «правила игры», и чем они проще, тем лучше: главное же в том, что любые правила приведут к одному результату — постулату относительности, суть которого Пуанкаре видит в том, что у нас нет средств установить абсолютное движение, и который подтверждается «самым обыденным опытом» и тем, что «противоположное допущение совершенно не укладывалось бы в уме» (⁶, с. 23—24).

Эйнштейн: принцип относительности как закон природы — исходный пункт последующего знания. Эйнштейн не считал, что принцип относительности вытекает «из самого обыденного опыта» или из того, что понятие абсолютного движения «не укладывалось бы в нашем уме». Напротив, он рассматривал принцип как обобщение *научного* опыта и многократно ссылался на этот опыт. Так, защищая теорию относительности от нападков «двух видных специалистов», Эйнштейн писал в 1914 г.: «... с точки зрения опыта трудно усомниться в том, что принцип относительности выполняется. В самом деле, если бы он не выполнялся, то на явления природы в системе координат, покоящейся относительно Земли, оказывало бы влияние годовое движение Земли вокруг Солнца: в результате этого движения в земных лабораториях должна была бы проявляться физическая анизотропия. Однако, несмотря на самые усердные старания, физики никогда не наблюдали подобную анизотропию. Следовательно, принцип относительности так же стар, как и механика, и, казалось бы, *никто не может сомневаться в нем с точки зрения опыта*» (¹³, с. 386; курсив наш. — С. С.).

В отсутствие физической анизотропии при годовом движении Земли Эйнштейн видел важнейший аргумент в пользу наличия в природе эффекта

относительности. Он приводил этот аргумент и в своем известном докладе на заседании Общества естествоиспытателей в Цюрихе в 1911 году (13, с. 179).

В соответствии со своим пониманием происхождения принципов, «отражающих определенные общие черты огромного множества экспериментально установленных фактов», он и принцип относительности считал в такой же мере *экспериментально обоснованным*.

В чем же видел Эйнштейн сущность этого принципа? Уже в первой работе 1905 года он ясно сформулировал его смысл: «Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к какой из двух координатных систем, находящихся относительно друг друга в равномерном поступательном движении, эти изменения состояния относятся» (6, с. 100, или 13, с. 10).

Аналогичные определения в мало отличающихся вариантах повторяются во многих последующих статьях, посвященных разъяснению сущности теории относительности *). Очень наглядно и верно Эйнштейн выразил смысл принципа относительности, указав, что два физика, находящиеся со своими измерительными приборами в двух различных инерциальных системах, «откроют тождественные законы природы» (13, с. 175). К этому бы следовало добавить, что тем самым вскрывается исключительно важное методологическое значение принципа относительности, позволяющее познающему человеку вырваться за узкие пределы той системы, в которой он делает первые шаги познания.

Несомненно, что успех первой же статьи Эйнштейна 1905 года был обеспечен правильным пониманием сущности принципа относительности и теми физическими выводами, которые он из этого принципа сделал. Если Пуанкаре делал акцент на негативной функции принципа относительности (отсутствие средств у наблюдателя установить состояние своего движения) — и в этом он видел подтверждение своей философской концепции, то Эйнштейн не просто констатировал факт инвариантности формы законов природы. Главное отличие подхода Эйнштейна к оценке принципа относительности состоит в том, что *он усматривал в нем не конечный результат знания, а исходный пункт последующего знания*, позволяющего раскрыть с единых позиций «механизм» многообразных физических явлений, предсказать новые и в конечном счете изменить и расширить представления об объективном мире и его связях.

На этом пути стояли психологические и методологические трудности, известный консерватизм мышления, сила привычных традиций.

Проблема времени. Одна из первых трудностей для восприятия теории относительности была связана с проблемой времени. В ньютоновской физике время представлялось как нечто абсолютное, равномерно текущее и измеряемое независимо от физических процессов, как некий чуждый материальным процессам фон, на котором они протекают. В смысле этой независимости время в классической физике играло среди других переменных специфическую роль, оно получало статус некоей *субстанциональности*.

Однако ситуация изменилась, когда при решении проблем электродинамики движущихся тел выяснилось, что система уравнений Максвелла сохраняет свою форму, она выражает связь частных производных переменных той же природы, но выраженных в мерах разных ИС.

Мы видели (см. с. 462), что в связи с этим у Лоренца появилось понятие «местного времени», которое толковалось как «вспомогательная мате-

*) См., например, 13, с. 69, 144, 145, 152, 175, 386.

матическая величина», противопоставляемая «действительному» времени. Появление разных мер времени вызывало недоверчивое отношение к новым взглядам со стороны многих физиков, создавало трудности в принятии новой концепции.

Но для Эйнштейна этой трудности не существовало. Принцип относительности, подтвержденный опытом, говорит о том, что системы отсчета K и K' физически ничем не отличаются друг от друга, они равноправны, и переход от K к K' равноценен обратному переходу от K к K' , с учетом знака относительной скорости. Это означает, что *одноименные переменные параметры играют тождественную роль* как в теории, сформулированной в системе K , так и в ее инвариантной форме в системе K' . В частности, это относится и к переменному параметру «время».

Тот факт, что взаимосвязь частных производных жестко определяется в электродинамике Максвелла некоторой системой уравнений, означает, что *ни один из переменных параметров не имеет независимого закона изменения* или закона изменения, определяемого *вне данной целостной системы* (теории), как это представлялось, например, в концепции Ньютона в отношении времени (и пространства тоже). Только это обстоятельство обеспечивает выполнение принципа относительности в его более глубоком толковании, по Эйнштейну.

Понимание такой роли взаимосвязи категорий в столь явной форме появилось в физике впервые *). Оно позволило Эйнштейну преодолеть трудности, связанные с классической трактовкой времени. На место *субстациональной* трактовки, в которой время представлялось как нечто независимое от физических процессов, универсальное, единое, равномерно текущее, встала *реляционная* трактовка времени, согласно которой время существенно связано с физическими процессами, в конечном счете — с законами природы **). В этой трактовке, как утверждал Эйнштейн, «пространственные и временные данные имеют не фиктивное, а физически реальное значение» (14, с. 24).

Такая трактовка ближе к пониманию времени как формы существования материи, и она оставляет возможности для последующего углубления понятия времени, неизбежного в дальнейшем развитии познания природы, при переходе к космическим и субатомным мирам ***).

О скорости света. Другой трудностью, которая возникла в ходе происходившей ломки понятий, была проблема постоянства скорости света в различных инерциальных системах.

В литературных дискуссиях, посвященных истории теории относительности, высказывались суждения о том, что в то время тезис о постоянстве скорости света экспериментально еще не был обоснован, что даже сам Эйнштейн, объявивший в статье 1905 года этот принцип в качестве

*) В неявном виде эта взаимосвязь, конечно, содержалась уже в уравнениях Максвелла; геометры пришли к этой идее раньше (см. ниже).

**) Мы используем термины «субстациональное время», «реляционное время», как вошедшие в употребление в советской философской литературе (см., например, 16).

***) В наше время, когда получила развитие и более глубокое понимание теория групп, можно сформулировать идею о равноправности всех переменных параметров, в том числе и времени, используя тот факт, что преобразования Лоренца составляют группу. Самый факт группового характера преобразований Эйнштейн констатировал уже в первой статье 1905 года (13, с. 21).

Пуанкаре выделил его в специальный параграф (6, с. 133) и использовал для рассмотрения условий, каким должны удовлетворять силы тяготения, которые по гипотезе Лоренца (см. с. 469) должны вести себя при поступательном движении так же, как и электромагнитные силы. Только позднее физики осознали, что указанный выше факт можно рассматривать как математическую форму выражения равноправности переменных параметров в различных ИС.

исходного, в дальнейшем, обсуждая процедуру синхронизации часов, принимал равенство скорости света «туда» и «обратно» только в качестве условного соглашения. В сознании многих физиков не укладывалось, как возможно сохранение скорости света в двух инерциальных системах, движущихся относительно друг друга с некоторой скоростью v , ибо скорости складываются по закону сложения векторов и результат сложения должен зависеть от относительной скорости.

В справедливости положения о постоянстве скорости света высказывалось немало сомнений даже после того, как появились первые признания работ Эйнштейна *).

Однако следует признать, что тезис о постоянстве скорости света в различных инерциальных системах вполне обоснован в концепции Эйнштейна и обоснован в той же мере, как и система уравнений электродинамики Максвелла, как и принцип относительности, — экспериментально.

В самом деле, скорость света входит в уравнения электродинамики как некоторая константа (см. с. 465). Принцип относительности, согласно Эйнштейну, утверждает, что законы природы, а в данном случае — электродинамические законы, имеют одинаковую форму во всех инерциальных системах: это означает, как мы видели выше, что в некоторой системе K' сохраняются те же взаимосвязи между переменными параметрами, хотя сами переменные в этой новой системе измерены уже другими масштабами (E', H', x', y', z', t); однако константа c не зависит от этих переменных параметров. Если бы при переходе в другую инерциальную систему эта величина изменялась, — иначе, если бы скорость света получала при этом другое значение, — это вступало бы в противоречие с принципом относительности, форма уравнений электродинамики не сохранялась бы, а это противоречило бы опыту.

Эту взаимосвязь принципа постоянства скорости света с принципом относительности в его применении к электродинамике Максвелла Эйнштейн постоянно подчеркивал. «Если мы хотим сохранить принцип относительности, — писал Эйнштейн в 1910 г., — мы обязаны допустить справедливость постоянства скорости света для любой системы, движущейся без ускорения» (13, с. 146) **). Разумеется, это связано с тем, что «необходимо отказаться от привычного правила сложения скоростей или, что лучше, заменить его другим» (13, с. 146).

Разъясняя необоснованность ссылок на классический закон сложения скоростей как на аргумент против принципа постоянства скорости света, Эйнштейн указывал, что если бы скорость света c относительно системы K складывалась векторно с относительной скоростью v самой системы, то «законы распространения света в системе K' отличались бы от законов распространения света в системе K , что означало бы нарушение принципа относительности. Это страшное заключение. Но оказывается, что природа не имеет к нему никакого отношения. Оно возникло из-за того, что в наших рассуждениях... мы молчаливо делали предположения, которые необходимо отбросить, чтобы прийти к непротиворечивому и более простому пониманию вещей» (13, с. 179, 180).

Подчеркнем для большей ясности два следующих момента. Развитая Эйнштейном трактовка принципа постоянства скорости света в различных инерциальных системах и мысли о его взаимосвязи с принципом относи-

*) В. Паули называет работы Толмэна (1910), Кунца (1910), Комстока (1910) и особенно Ритца (1908) (см. 17).

**) Впрочем, уже и во второй статье, опубликованной в следующем выпуске «Annalen der Physik», Bd. 18, в том же 1905 г. он писал: «Использованный там (в первой статье — С. С.) принцип постоянства скорости света содержится, конечно, в уравнениях Максвелла» (13, с. 36).

тельности не позволяют рассматривать оба принципа как два самостоятельных, хотя и совместимых, как это можно понять из первой статьи 1905 года. Во-вторых, это постоянство скорости света справедливо лишь при достаточно малых значениях гравитационного потенциала, т. е. в меру того, как справедливо само понятие инерциальных систем.

Таким образом, обе рассмотренные трудности находят свое разрешение; необходимость перехода к новому толкованию времени и признание принципа постоянства скорости света в различных ИС имеют своим основанием два факта — справедливость системы электродинамических уравнений Максвелла и инвариантность формы этих уравнений относительно лоренц-преобразований (принцип относительности). А они находятся в полном соответствии со всеми экспериментальными фактами. Следовательно, указанные трудности возникли только в силу привычного способа мышления в классической физике.

Физическая теория Эйнштейна. Анализируя проблемы, вставшие перед электродинамикой на рубеже двух веков, Эйнштейн, как мы видели, нашел два исходных начала, от которых следовало отправляться дальше. Первое — математическая форма электродинамики Максвелла, адекватная всем многообразным экспериментальным фактам. Второе начало — проявление законов природы в одной и той же форме во всех инерциальных системах — принцип относительности. Этот принцип — результат обобщения множества разнообразных электродинамических экспериментов. Эйнштейн видел задачу теоретика не только в том, чтобы констатировать это факт, но и в том, чтобы извлечь из него позитивные выводы, ведущие к углублению физического знания.

Первый и главнейший вывод из этого принципа состоит в том, что он тождествен условию, что закономерные связи в каждой инерциальной системе выражаются через собственный набор переменных параметров той же природы ($E, H, x, y, z, t; E', H', x', y', z', t'; \dots$), в этой системе измеренных, и эти связи их остаются неизменными в любой ИС. Дальнейший шаг — установление связи между переменными, измеренными в различных ИС, — естествен (*). Следует заметить, что формулы преобразования имеют объективный смысл. Они приобретают большое значение в связи с тем, что наблюдение явлений часто производится, в силу физических условий, не в собственной инерциальной системе, а в какой-либо иной (например, лабораторной). Формулы преобразований позволяют раскрыть законы явлений в собственной системе по той картине, которая регистрируется в какой-либо иной системе (**).

Следуя своему методу, Эйнштейн вывел из формул преобразования (в конечном счете из принципа относительности) множество следствий — объективный характер относительности длины, одновременности, замедление времени, вывод о том, что электрические и магнитные поля суть компоненты единого электромагнитного поля, поперечный эффект Доплера и др. Нельзя не упомянуть знаменитый вывод о том, что «масса тела есть мера содержащейся в нем энергии» (13, с. 38). Все эти эффекты не зависят от природы действующих сил, которые ни в каких предпосылках не рас-

*) Как известно, это можно выполнить разными методами. Один из них указал Эйнштейном в статье 13, с. 183 (см. здесь с. 487).

**) Мы не рассматриваем здесь вопрос о передаче тела (или масштаба и часов) из одной ИС в другую с неизбежным ускорением; недавно этот вопрос рассмотрен в обстоятельной статье Е. Л. Фейнберга 18.

смаатриваются. Взаимосвязанные следствия подтверждены экспериментально.

Тем самым Эйнштейном была создана целостная логическая система — теория относительности (специальная). Ее можно совершенствовать, но нельзя сказать, будто в теории относительности все было подготовлено еще до Эйнштейна, а ему оставалось только вложить последний камень завершающего арочного замка: вся логическая система последовательно развивалась самим Эйнштейном.

Методологические особенности в исследовании Эйнштейна. Мы видим, что проблему электродинамики движущихся тел Эйнштейн решил, не прибегая к оысканию условий равновесия сил в движущемся теле, как это делал Лоренц. Глубокое понимание сущности принципа относительности как закона природы, обеспечивающее инвариантность уравнений в различных инерциальных системах, позволило решить стоящие задачи, не прибегая к анализу структуры движущихся тел и к бесконечному «нагромождению гипотез» (Пуанкаре). Метод Эйнштейна оказался плодотворным.

Далее. Статус времени Эйнштейн не рассматривал вне анализа той роли, какую оно играет в подтвержденной теории. Его не соблазнили ни подсказываемая классической физикой идея об универсальном едином равномерно текущем времени, ни утверждение, что абсолютное время не наблюдаемо. Существенно то, что время органически включено в адекватную теорию (еще в системе уравнений Максвелла) и, согласно принципу относительности, оно различно для различных инерциальных систем. Осознав эту связь, Эйнштейн не отступил перед самыми кардинальными выводами, вплоть до разрушения классических представлений о субстанциональном характере пространства и времени. Именно такой метод обеспечил успех новой физической теории и раскрыл перспективу для следующего шага к общей теории относительности.

Этот метод оценки содержания категорий в свете той роли, какую они играют в адекватной теории, имеет общее гносеологическое значение. Любая теория, прошедшая проверку на адекватность ее объективной реальности, представляет собой целостность, которой подчинено содержание категорий, в ней примененных. Такая связь логических категорий (и соответствующих моментов объективной реальности) была давно обоснована при анализе проблем политической экономии, реализованной Марксом и его последователями.

Применение этой идеи в физике сыграло важную роль в становлении теории относительности. Для Эйнштейна она явилась не случайным эпизодом; она прослеживается во многих его последующих работах, в своем месте мы обратим на это внимание. Для физики это был новый метод теоретического обобщения результатов исследования природы.

Именно примененный Эйнштейном метод должен был бы привлечь внимание тех, кто хотел понять, кем и как создавалась теория относительности, а не рассуждения, которым Кесуани в своей статье⁹ посвятил целые разделы: «Знал ли Эйнштейн о работе Пуанкаре» и что он извлек из книги Пуанкаре «Наука и гипотеза», или «Знал ли Эйнштейн о статье Лоренца 1904 г.» до опубликования своей статьи в 1905 г.

III. С ЧЕГО ЖЕ НАЧАЛАСЬ ТЕОРИЯ ЭЙНШТЕЙНА?

«Кинематическая часть» и процедуры измерений. Находят ли свое отражение те представления о пространстве и времени, которые вытекают как следствия теории относительности, в практике непосредственных измерений переменных параметров? Конечно, да.

Поскольку теория относительности установила связь пространства и времени с физическими процессами, постольку ясно, что она должна учитываться и при выполнении процедуры пространственно-временных измерений.

Но возникает вопрос, как и на какой стадии логичнее изложить эту процедуру и представить ли ее как следствие той логической системы, которая намечена в преамбуле, или же как самостоятельный исходный пункт.

Можно предположить, что, учитывая необходимость преодолеть консервативность господствовавших взглядов физиков, Эйнштейн счел необходимым сразу же показать, что дело с определениями понятий вовсе не так просто, как было принято считать, и что это выявляется уже при анализе процедуры измерения.

Как бы то ни было «Кинематическую часть» статьи 1905 г. Эйнштейн начинает с рассмотрения различных процедур, посредством которых могут быть измерены различные физические величины как в исходной («покоящейся») системе, так и в системе, инерциально движущейся относительно первой. Наиболее важной проблемой является проблема времени. Всякое суждение, связанное со временем, пишет Эйнштейн, есть суждение об одно-временных событиях. Одновременность событий, происходящих рядом, постигается непосредственно. Но одновременность разноместных событий A и B непосредственно не дана. Синхронизация часов в точках A и B возможна лишь опосредованно, например с помощью световых сигналов; она требует знания скорости света, которая принимается равной в обоих направлениях между A и B (принимается по определению, ибо в данной ограниченной ситуации средств измерения скорости света нет). Применяя принятый метод синхронизации для определения одновременности двух событий в движущейся системе, Эйнштейн находит, что «два события, одновременные при наблюдении из одной координатной системы, уже не воспринимаются как одновременные при рассмотрении из системы, движущейся относительно данной системы»⁽¹³⁾, с. 13). Понятие одновременности не абсолютно. Точно так же не абсолютно понятие длины стержней, промежутков времени; вообще численные значения физических величин связаны с системой, по отношению к которой производится измерение.

В результате анализа процедур измерения Эйнштейн приходит к уже упомянутому выше выводу, что «каждой системе значений x, y, z, t , которые вполне определяют место и время в покоящейся системе, соответствует система значений ξ, η, ζ, τ , устанавливающая это событие в системе K (т. е. в другой ИС.— $S. S.$), и необходимо теперь найти систему уравнений, связывающих эти величины».

При этом Эйнштейн, конечно, использует ряд следствий принципа относительности (постоянство скорости света, однородность пространства и времени); в конечном счете Эйнштейн показывает, что полученные преобразования приводят к инвариантным формам уравнений сферической световой волны в двух ИС (см. выше) и, следовательно, доказывают совместимость двух исходных принципов — принципа относительности и принципа постоянства скорости света.

Таким образом, в «Кинематической части» Эйнштейн проделывает путь, противоположный тому, который он с самого начала определил как программу исследований по электродинамике движущихся тел *).

*) В «Электродинамической части» никаких измерительных процедур не рассматривается, а просто учитывается, что дифференцирование компонент векторов напряженностей E и H производится по преобразованным переменным координат и времени и применяется принцип относительности для вывода связи напряженностей в одной ИС с напряженностями в другой ИС.

Комментаторы Эйнштейна — Бриджмен, Рейхенбах. «Кинематическая часть» дала повод многим физикам и философам по-своему, и совсем не в духе преамбулы в основоположной статье Эйнштейна, толковать сущность и происхождение теории относительности. Мы видели, что эта часть статьи начинается с определения конкретных физических процедур, с которыми связываются понятия одновременности, длины и т. п.; принцип же относительности, принцип постоянства скорости света, которые Эйнштейн назвал в преамбуле предпосылками теории, хотя и используются при выводе формул преобразования, но звучат глухо, на втором плане, и выглядят скорее как некий математический вспомогательный прием. Это обстоятельство воодушевило тех физиков и философов, которые считали, что любая теория именно так и начинается — с анализа и отбора отдельных понятий — «первичных кирпичей» теории, а анализ того пути, который намечен Эйнштейном в преамбуле (и реализован в дальнейшем), можно не учитывать.

Рассмотрим позиции некоторых комментаторов, которым Эйнштейн считал нужным ответить; его ответ раскрывает взгляды самого Эйнштейна на пути становления теории относительности.

Известный физик П. Бриджмен усмотрел плодотворность работы Эйнштейна в том, что он впервые дал физикам понять, что смысл вводимого в теорию понятия раскрывается только через определенную физическую операцию измерения; в конкретном случае имелось в виду понятие одновременности. Бриджмен считал, что в любой измерительной операции всегда заключены все необходимые для раскрытия смысла понятия детали, но им часто не придают значения. Он утверждал, что необходим тщательный и все более глубоко проникающий анализ всех деталей существующих операций измерения и стоящих за ними скрытых допущений, которые могут оказаться ключом к новой ситуации. По мнению Бриджмена, такой «глубоко проникающий анализ» и проделал Эйнштейн.

Гносеологический вывод Бриджмена состоял в том, что теория может и должна строиться только на базе предварительно сформулированных понятий, притом таких понятий, которым может быть сопоставлена какая-либо физическая операция; все же другие понятия должны быть исключены. Так получило начало гносеологическое направление в физике — *операционализм*. Сам Бриджмен родоначальником операционалистических идей считал Эйнштейна; однако цель своей статьи «Теория Эйнштейна и операциональная точка зрения», посвященной 70-летию Эйнштейна *), он видел в предъявлении упрека юбиляру за то, что при формулировке общей теории относительности Эйнштейн фактически отказался от метода, которому он сам будто бы учил физиков, конструируя специальную теорию относительности.

В том же сборнике¹⁹ профессор Калифорнийского университета (США), автор многих работ по гносеологическим проблемам физики, Ганс Рейхенбах опубликовал статью «Философское значение теории относительности». «Заключенной формулировкой логического значения теории относительности» Рейхенбах считает установление конвенционально-определятельного характера физических положений: «Логической основой теории относительности, — пишет он, — является открытие того, что многие положения, которые мы считали способными выразить либо истинность, либо ложность, на самом деле суть только определения» (с. 293). И еще конкретнее: «То, что одновременность событий, происходящих во взаимно удаленных местах, *есть дело определения*, не было известно до Эйнштейна,

*) Статья напечатана в известном сборнике П. Шилла, изданном к 70-летию Эйнштейна¹⁹. Указанные в тексте страницы относятся к этому изданию.

а он на этом логическом открытии обосновал специальную теорию относительности» (с. 294; курсив наш.— С. С.). Определения же устанавливаются по Рейхенбаху волевым образом. Так, результат сравнения отрезков, удаленных друг от друга, обусловлен характером принятой конгруэнции, т. е. принятым методом сопоставления этих отрезков: «Если бы мы приняли, что стержень, который был однажды перенесен в местоположение другого, в два раза длиннее, а трижды перенесенный — в три раза длиннее и т. д., то, получилось бы другое определение», — пишет Рейхенбах (с. 294), показывая этим примером, что принимаемые определения суть условные соглашения. Так, конкретная физическая теория с самого начала рассматривается как продукт конвенционального соглашения. С точки зрения конвенциональных определений, утверждает Рейхенбах, «мы могли бы заставить обоих наблюдателей (находящихся в “покоящейся” и в движущейся системах.— С. С.) пользоваться одним и тем же определением времени, например временем “покоящейся” системы. Такие вариации привели бы к различным преобразованиям; например, последнее упомянутое определение привело бы нас не к лоренцевым преобразованиям от покоящейся системы к движущейся, а к классическому преобразованию» (с. 295). «Определения произвольны, — ставит Рейхенбах все точки над “и”, — и именно вследствие того, что фундаментальные понятия по своей природе суть определения, с изменением определений возникают различные системы описаний» (с. 295).

Мы видим, что Бриджмен только по-своему толковал логические основания специальной теории относительности, не претендуя на ее перестройку. Концепция Рейхенбаха идет дальше: в ней есть тенденция к обоснованию иных формулировок теории относительности. Если логическим основанием теории явилось определение процедуры измерения одновременности разноместных событий, а всякое определение есть, по Рейхенбаху, дело соглашения, то такая трактовка открывает возможности для признания теории относительности, — той, которая известна всем физикам, — только одним из вариантов условной теории.

В этой концепции, по-своему определяющей логическую основу теории относительности, полностью игнорированы прямые указания самого Эйнштейна на экспериментально подтвержденные исходные принципы, а также и на методы, которые привели его к построению теории относительности.

Эйнштейн: ответ Рейхенбаху и Бриджмену. Эйнштейн ответил им в том же юбилейном сборнике, в котором напечатаны их статьи (см. ¹, с. 304 и след.).

Более подробный ответ он дает Рейхенбаху, которого сразу же сталкивает в гипотетической беседе с Пуанкаре. Вопрос идет о том, можно ли определить смысл понятий вне теории и до теории, в частности понятий геометрических. Пуанкаре считает выбор геометрии делом условного соглашения. Геометрия относится не к реальным, а к идеальным телам, понятие о которых целиком извлечено из недр нашего духа (см. ²⁵, А-90, В-83). Любая геометрия не может быть ни подтверждена, ни опровергнута опытом. Рейхенбах по существу стоит на той же позиции, с тем только отличием, что он считает, что геометрия несопоставима с опытом до тех пор, пока не указана «координативная конгруэнция» к ней, т. е. пока не предъявлено твердое тело, с помощью которого реализуется понятие геометрического отрезка: если твердое тело предъявлено, то опыт подтвердит геометрию Евклида.

Эйнштейн показывает иллюзорность попытки Рейхенбаха, стоя на позиции Пуанкаре, подняться выше его; если уж вы признали конвенцио-

нальный характер геометрии, никакие оговорки о конгруэнции улучшить дело не могут, ибо на место прежней проблемы встает новая: а можно ли оперировать понятием твердого тела и как его определить? В целях деликатного показа близости двух позиций как раз и избрана форма гипотетической беседы Рейхенбаха и Пуанкаре.

Итак, мы снова поставлены перед проблемой — как определить исходное понятие *до всякого опыта и до теории*; раньше речь шла об одновременности, о скорости света, теперь — о геометрическом отрезке, о твердом теле, о связи геометрии с опытом.

В гипотетической беседе Пуанкаре отвечает Рейхенбаху, что предъявить твердое тело нельзя, ибо «эмпирически данные тела не являются абсолютно твердыми и, следовательно, не могут служить реализацией геометрических отрезков. Поэтому теоремы геометрии нельзя проверить на практике». Евклидову геометрию мы избираем как наиболее удобную и простую. Рейхенбах соглашается с тем, что абсолютно твердых тел в природе нет; но может быть их можно заменить обычными, реальными телами, поскольку физика дает нам знание, как они изменяются в зависимости от физических условий (при нагревании, намагничении и т. п.)? Пуанкаре и здесь опровергает Рейхенбаха: вы воспользовались физическими законами, но формулировка их предполагает евклидову геометрию; значит, вы проверяете не геометрию, но геометрию совместно с физикой, «проверка одной лишь геометрии невозможна. Но тогда почему бы мне не выбрать геометрию (например, евклидову), руководствуясь исключительно соображениями собственного удобства, а остальные (“физические” в обычном смысле) законы не подгонять к выбранной геометрии так, чтобы вся система в целом не противоречила опыту?» (1, с. 305).

Далее Эйнштейн представляет беседу так, что Рейхенбах ничего не может ответить Пуанкаре, он что-то невнятно говорит о том, что в изложенной концепции Пуанкаре есть нечто, достойное внимания, но, с другой стороны, мы ведь пользовались в классической физике понятиями *отрезок, расстояние, твердое тело* и не было никаких осложнений, — отчего же и дальше не поступать так же?

В этом месте беседы Эйнштейн заменяет Пуанкаре другим оппонентом — Непозитивистом (Nicht-Positivist), который тоже критикует Рейхенбаха, но с противоположных позиций; по всей видимости, он высказывает мысли самого Эйнштейна. Этот собеседник отмечает противоречия у Рейхенбаха: с одной стороны, Рейхенбах придерживается принципа: выражение «имеет смысл» тождественно выражению «проверяемо на опыте»; исходя из него, он должен был бы исключить геометрические понятия и теоремы, поскольку признается, что они не проверяемы на опыте. С другой стороны, защищаясь от критики Пуанкаре, он должен был сослаться на фактическое положение дел, на историю: теории-то развиваются, и они оказываются в выигрыше, используя такие понятия, как твердое тело, хотя в природе абсолютно твердых тел нет, стало быть, это возможно... Но тут Непозитивист ловит Рейхенбаха на противоречии: а как же с вашим основным принципом — понятие имеет смысл, если оно проверяемо на опыте? И Непозитивист заключает: «Не должны ли вы признать, что вообще нельзя придавать никакого “смысла” в вашем понимании отдельным понятиям и положениям физической теории, а придавать смысл можно только целостной системе поскольку она делает “постижимым для мышления” данные опыта? Зачем вообще требовать особого оправдания отдельно взятых понятий (die Einzelbegriffe), которые встречаются в теории, *если они необходимы только в рамках логической структуры теории*, а сама теория *подтверждается как целое (als Ganzes)?»* (20, с. 503; курсив наш. — С. С.).

Ту же мысль Эйнштейн высказывает уже прямо от своего имени в кратком ответе Бриджмену, который, как сказано, требовал, чтобы каждому понятию была сопоставлена определенная физическая операция. «Чтобы логическая система могла рассматриваться как физическая теория, нет необходимости требовать (*ist es nicht notwendig zu verlangen*), чтобы все ее утверждения могли толковаться независимо и чтобы они могли быть независимо “проверяемы” “в операционалистическом” смысле; фактически это никогда еще не было выполнено ни в одной теории, да и не может быть выполнено вообще. Чтобы некоторую теорию можно было рассматривать как физическую, необходимо только, чтобы она вообще заключала в себе эмпирически проверяемые утверждения» (20, с. 504 *).

Этот краткий ответ Бриджмену Эйнштейн считает исчерпывающим, одновременно он отмечает, что сказанное в адрес Рейхенбаха имеет непосредственное отношение и к статье Бриджмена.

Мы видим, что комментаторы методов — Эйнштейна — Рейхенбах и Бриджмен — исходили из того, что прежде всего необходимо дать конвенциональное или же операциональное определение понятий, которые предстоит использовать в теории; это требование объединяло представителей многих направлений, хотя вопрос о методе определения понятий решался ими по-разному.

Эйнштейн же кардинально меняет постановку вопроса: неправомерно требовать обоснования понятий в их отдельности, поскольку они играют роль лишь в теории, которая подтверждается как *целое*.

Эйнштейн и принцип наблюдаемости. Мы видели, что много различных трактовок того, «с чего началась» теория относительности, — то ли с положения об условности равенства скорости света в противоположных направлениях, то ли с предварительного определения понятий, то ли с выбора процедуры измерения одновременности... И каждая трактовка «начала» по-своему освещала смысл теории. В литературе можно встретить и утверждения, будто «все началось» с исключения абсолютных пространства и времени, как ненаблюдаемых. В связи с этим уместно напомнить об одном эпизоде, в котором ярко сказались и отношение Эйнштейна к проблеме «с чего началось», и его оценка значения теории в процессе познания.

Сравнительно недавно, в 1968 г., Гейзенберг рассказал на международном симпозиуме по проблемам современной физики в Триесте о своей беседе с Эйнштейном, состоявшейся еще в 1926 г.²¹ Эйнштейн критиковал Гейзенберга за то, что в качестве философской основы квантовой механики, которую разрабатывал в то время Гейзенберг, он положил принцип исключения ненаблюдаемых. Тогда Гейзенберг возразил: ведь и сам Эйнштейн создавал теорию относительности, опираясь на философию исключения ненаблюдаемых, «потому что он также отрицал абсолютное (т. е. ненаблюдаемое. — С. С.) время и вводил только время для определенной системы координат». Эйнштейн объяснил мне, — продолжал Гейзенберг, — что в действительности было как раз наоборот (*it was really the other way around*). Он сказал: «Можете ли вы наблюдать явление или нет — зависит от теории, которую вы применяете. Именно теория определяет, что можно наблюдать, а что нельзя». Гейзенберг признал: «Это замечание оказалось очень важным для меня позднее, когда я вместе с Бором обсуждал интерпретацию квантовой теории... Эйнштейн обратил мое внимание на то, что

*) Русский перевод см. ¹, с. 305, 306; перевод мною уточнен: взятый в скобки немецкий текст переведен в ¹ словами «необходимо потребовать», что придает мысли Эйнштейна противоположный смысл, несовместимый с последующим.

утверждать, будто следует говорить только о наблюдаемых величинах, даже опасно. Потому, что каждая разумная теория, кроме непосредственно наблюдаемых, должна давать возможность наблюдать и нечто более опосредованное. Мах, например, был убежден, что понятие атома было принято только из-за его удобства, в целях экономии мышления, он не верил в реальность атомов. В наше время каждый сказал бы, что это нонсенс; совершенно ясно, что атомы существуют.

Из этого следует, что развитие идей теории относительности шло вовсе не так, будто Эйнштейн прежде всего стремился освободиться от абсолютных пространства и времени, в силу того, что они непосредственно не наблюдаемы, а «как раз наоборот», т. е. он исходил из открытия реальных законов природы и пришел к выводу, что они не оставляют места понятиям абсолютного пространства и времени.

Заключение. Мы видим, что на протяжении многих десятилетий после формулировки теории относительности все еще продолжали появляться самые различные толкования истоков теории относительности. Возражения Эйнштейна показывают, что он отстаивал ту концепцию развития теории, которую намечал в преамбуле статьи 1905 года и реализовал в дальнейшем. Она идет от обобщения многообразного опыта в области электродинамики и поисков условий совместимости его результатов, а не от конвенциональных или операциональных определений понятий, взятых сами по себе еще до создания теории. В частности, хотя он в «Кинематической части» и давал определение одновременности разноместных событий, он вовсе не придавал ему значения исходного и основополагающего для становления теории. Оно есть *следствие* адекватной теории относительности, точно так же, как следствием ее является и исключение идеи абсолютного пространства и времени.

IV. ДВЕ ЛИНИИ: ПУАНКАРЕ — ЭЙНШТЕЙН

В работах, посвященных истории становления теории относительности, отмечались два любопытных обстоятельства, связанных с именем Пуанкаре.

Одно из них состоит в том, что Пуанкаре, опубликовавший в 1906 году большое исследование «О динамике электрона» и этим немедленно откликнувшийся на известную статью Лоренца 1904 года, нигде в дальнейшем не обмолвился о работах Эйнштейна 1905 года и последующих, в которых была развернута законченная теория относительности и показаны ее следствия. Чем можно объяснить, что работы, которые сразу же стали предметом оживленных обсуждений в научных кругах, были игнорированы крупным ученым, который в ряде статей сам защищал релятивистские идеи?

Второе обстоятельство состоит в том факте, что Пуанкаре — этот блестящий математик, автор классического труда по небесной механике, по качественному анализу дифференциальных уравнений и другим глубоким математическим проблемам, — хотя и «близко подходил к идее Эйнштейна», но «так и не сделал решающего шага и предоставил Эйнштейну честь разглядеть все следствия из принципа относительности». Это горькое признание принадлежит крупному физiku и соотечественнику Пуанкаре — Луи де Бройлю, который, по его собственному признанию, еще при жизни Пуанкаре «без усталости зачитывался томами курса математической физики Анри Пуанкаре и его работами по философии науки»²².

Оно было высказано почти в наше время, в 1954 г., в речи, посвященной столетию со дня рождения Пуанкаре *).

Чем же объяснить неожиданный «выход из игры» активного поборника идей релятивизма после появления работ Эйнштейна **)?

С. Гольдберг объясняет молчание Пуанкаре тем, что теория Эйнштейна выглядела в глазах Пуанкаре недостаточно простой, недостаточно гибкой (из-за «логической жесткости») и естественной, «причем в такой степени, что он не счел нужным о ней упомянуть»²⁴.

Ответ Гольдберга нам представляется неубедительным, а более обоснованный ответ требует хотя бы краткого сравнительного анализа гносеологической концепции обоих ученых, рассмотрения задач, которые они ставили перед естествознанием. Это тем более необходимо, что отношение Эйнштейна к взглядам Пуанкаре в литературе представлено не совсем точно, и это запутывает ситуацию.

Поэтому ответ на поставленные выше вопросы мы дадим в конце этого раздела после предварительного обсуждения темы Пуанкаре — Эйнштейн.

Взгляды Эйнштейна как естествоиспытателя. Мы видели как создавалась теория относительности Эйнштейном, этот процесс резюмирован на с. 474, 475. Эйнштейн шел от обобщения многообразных экспериментов к формулировке теории, в которой подчеркивал ее целостность, и затем обращался к объективному опыту, предсказанному на основе теории.

Опыту Эйнштейн придавал огромное значение — и как исходной основе для обобщений, и как критерию истинности познания, адекватности созданной теории. Физикам хорошо известно, что в своих теоретических работах того периода он часто сразу же указывал, какой эксперимент и при каких условиях следует поставить для проверки только что сформулированной теории.

Это показывает, что и самую теорию Эйнштейн рассматривал как путь к раскрытию законов природы, а также и к раскрытию структуры отдельных систем. Очень характерно, например, что изучая броуновское движение, вообще явления флуктуаций, развитые им исследования по статистической механике и термодинамике он подчинял этой же задаче, о которой писал: «При этом главной моей целью было найти такие факты, которые возможно надежнее устанавливали бы существование атомов определенной конечной величины»¹, с. 275—276).

Точно так же интерес к исследованиям Планка диктовался не столько отдельными следствиями из результатов Планка, как бы важны они ни были, сколько тем, «какие общие выводы позволяет сделать формула излучения относительно структуры излучения и вообще относительно электромагнитной основы физики»¹, с. 275).

И разве не к раскрытию объективных законов атомных структур вели сугубо теоретические исследования индуцированного излучения, которые уже в наши дни легли в основу современной лазерной техники?

Наряду с этим для всей научной деятельности Эйнштейна была характерна одна генеральная линия: он стремился перейти от одной физической картины мира к другой, все более глубокой и обобщенной. Так, от частной теории относительности он шел к общей, включая в нее и неинерциальные

*) Другой соотечественник Пуанкаре, известный физик Л. Бриллюэн, критиковавший идеи ОТО (с позиции операционализма П. Бриджмена, по его признанию), все же считал, что (в противовес ОТО) «Специальная теория относительности Эйнштейна представляет собой выдающееся достижение»²³, т. е. Бриллюэн, как и де Бройль, не сомневался, что авторство СТО принадлежит Эйнштейну.

**) Статья Эйнштейна «К электродинамике движущегося тела» сдана в печать 30 июня, опубликована в сентябре 1905 г.; статья Пуанкаре «О динамике электрона» сдана в печать 23 июля 1905 г., опубликована в 1906 г.

системы отсчета; больше того, он верил, что тем самым он идет к единой картине, которая охватывает весь мир в системе единого поля, в которой дискретности должны быть выражены как особые точки, определяемые параметрами поля. С позиции физики 70-х годов нетрудно увидеть односторонности в поисках конкретных путей его решения этой задачи, указать, что он не учел огромного расширения наших знаний микромира и т. д. и т. п. Однако нельзя не признать, что Эйнштейн ставил перед физикой задачи куда более величественные, чем те, какие ставят иные теоретики — средствами физического мышления упорядочить наши чувственные восприятия; это были грандиозные задачи отражения в нашем сознании объективного мира. В 1927 г. он формулировал их так: «Мы хотим не только знать, *как* устроена природа (и *как* происходят природные явления), но и по возможности достичь цели, может быть, утопической и дерзкой на вид, — указать почему природа является именно такой, а не другой. В этом ученые находят высшее удовлетворение» (14, с. 245).

Гносеология Пуанкаре. Конвенциональный выбор способов описания. Рейхенбах. Концепция познания Пуанкаре коренным образом отличается от концепции Эйнштейна — естествоиспытателя.

Пуанкаре относится к тем мыслителям, для которых существование материальных объектов не более как «удобная гипотеза» (25а, с. 246, 25б, с. 231). Проблему познания он рассматривает не в свете выяснения путей отражения в сознании человека объективных законов природы, а в свете анализа связей тех восприятий, которые человек получает в своих органах чувств, выяснения отношения к ним мышления, способности мышления создавать на базе несовершенных восприятий логические абстрактные схемы, классификации фактов восприятий и т. п.

Пуанкаре тоже говорит об опыте как первоисточнике знания, но этот опыт он представляет себе как совокупность чувственных восприятий. На уровне чувственного опыта возникают многие представления — различные пространства (зрительное, тактильное, моторное) и их свойства (однородность, изотропность, мерность и т. п., определяемые, по мнению Пуанкаре, *физиологическими* свойствами органов человека), физиологические представления твердого тела, непрерывности и ряд других (см., например, 25, гл. 4 — «Пространство и время»).

Но чувственный опыт несовершенен, и Пуанкаре приходит к выводу, что возникает необходимость совершенствования представлений, которое и осуществляется на уровне мышления. Последнее на базе пространства физиологических представлений создает совершенную логическую схему — *геометрическое* пространство, различные схемы абстрактных геометрий, понятие математической непрерывности и т. п. Все эти абстрактные схемы относятся им не к внешнему миру и имеют целью преодолеть несовершенство чувственных восприятий.

Таким образом, Пуанкаре над миром восприятий конструирует мир абстрактный, который хотя и пробужден миром восприятий, но становится от него независимым, а идеальные элементы его конструкции не имеют непосредственных аналогов в природе.

Мышление конструирует *теорию* явлений. В концепции Пуанкаре оценка теории (= «математической физики») как объективного образа внешнего мира исключена с самого начала. В его концепции она может нести в себе только функцию фактора, *упорядочивающего* полученные восприятия. Эту функцию теории по отношению к фактам восприятий Пуанкаре сравнивает с функцией библиотечного каталога: она *не дает нового знания*, но своей систематизацией облегчает использование фактов (25а, с. 172, 25б, с. 160).

Важно подчеркнуть также и другие моменты его понимания сущности теории. Так, упорядочение фактов опыта не является однозначным, оно может быть избрано по соглашению, конвенционально. С другой стороны, опыт, рассматриваемый в качестве единственного источника нового знания, возбуждая появление теории, в дальнейшем не контролирует ее; новый опыт не является критерием истинности созданной теории, так как введение подходящих гипотез снимает противоречие между теорией и новым опытом, сохраняя исходную основу представлений. А резерв гипотез неисчерпаем, заключает Пуанкаре (см. ²⁵6, гл. X).

Тем самым Пуанкаре высвобождает теорию от воздействия нового опыта. А вместе с этим исключается и возможность качественного скачка в познании мира.

Идеями конвенционализма пронизаны утверждения, касающиеся непосредственно путей познания в физике. Напомним главные.

Еще в 1898 г. Пуанкаре утверждал, что постулат о постоянстве скорости света во всех направлениях «никогда нельзя проверить прямо на опыте», но он и не противоречит опыту; подобные определения «являются лишь плодом неосознанного соглашения» ²⁶. При этом под опытом понимается мысленный ограниченный опыт, в котором из точки $A(0)$ в точку $B(x)$ посылается световой сигнал в момент $t_1(0)$, а затем в той же точке $A(0)$ в момент $t_3(0)$ воспринимается отраженный в $B(x)$ сигнал.

Действительно, в таком «усеченном» единичном опыте, в котором исключено многообразие связей, обобщенных и проверенных через теорию, образуется замкнутый логический круг, и установить постоянство скорости света «прямо на опыте» невозможно, ибо в нем невозможно установить момент $t_2(x)$ отражения сигнала в $B(x)$.

Что означает утверждение Пуанкаре, будто положение о постоянстве скорости света не есть опытный факт, будто оно есть определение по соглашению? Это означает, что можно с тем же основанием принять другое соглашение, согласно которому скорости света «туда» и «обратно» изменяются в определенных пределах. Для эмпирического опыта, который мы назвали выше «усеченным», Рейхенбах вывел формулу для момента отражения луча света от зеркала $B(x)$:

$$t_2(x) = t_1(0) + \varepsilon [t_3(0) - t_1(0)],$$

где ε — «коэффициент конвенциональности», меняющийся в пределах $0 < \varepsilon < 1$.

Принятое Эйнштейном постоянство скорости света во всех направлениях соответствует только одному значению коэффициента конвенциональности: $\varepsilon = 1/2$. Следовательно, при всех других возможных по формуле Рейхенбаха значениях ε получались бы какие-то другие «варианты теории», но не тот «вариант», который мы знаем в результате работ Эйнштейна *). Вряд ли физики согласятся рассматривать теорию относительности Эйнштейна как частный случай конвенционалистского соглашения, выделенный из широкого класса «эквивалентных теорий». А ведь к этому именно и клонит формула Рейхенбаха.

Конечно, при ответственном подходе к делу нетрудно заметить, что формула Рейхенбаха не есть физический факт, а лишь некий математический алгоритм, из которого следует, что при условии $t_1(0) < t_2(x) < t_3(0)$ переменный параметр ε будет изменяться в пределах $0 < \varepsilon < 1$. Это — безусловный математический факт. Но к теории относительности Эйнштейна он не имеет никакого отношения.

*) Напомним, что среди всех возможностей Рейхенбах допускал и такой вариант, при котором для всех ИС сохраняются и единое время, и классическое преобразование (см. с. 478).

Исторический анализ показывает также, что опыт развивающейся науки вовсе не сводится к такому «усеченному» единичному опыту, который ограничен посылкой и приемом отраженного сигнала в одной и той же точке пространства, и мы стремились показать в этой статье, какие широкие экспериментальные основания обобщены в исходных принципах теории относительности.

Более того, если бы мы согласились с конвенциональным методом Пуанкаре — Рейхенбаха и приняли на началах соглашения все другие значения ϵ , допускаемые формулой Рейхенбаха, то увидели бы, что все они (кроме $\epsilon = 1/2$) приводят к неравенству скорости света в противоположных направлениях, т. е. к противоречию с экспериментально обоснованным принципом относительности *).

Рассмотрим еще один пример конвенционалистского подхода Пуанкаре к познанию. Речь идет о соотношении геометрии (Γ) и физики (Φ).

Еще в своей ранней работе «Об основных гипотезах геометрии» (1887) Пуанкаре писал, что «основные гипотезы геометрии не суть факты, добытые из опыта», и что «выбранная нами группа [гипотез] только удобнее, чем другая, и нельзя уже сказать, что евклидова геометрия верна, а геометрия Лобачевского ложная, совершенно подобно тому, как нельзя сказать, что декартовы координаты верны, а полярные неверны» (27, с. 398).

Уже в этом высказывании Пуанкаре ставит в один ряд геометрию и систему координат, отождествляя их функции как способы описания. Здесь, как и во многих позднейших формулировках, Пуанкаре рассматривает геометрию как конвенционально принятый способ описания, как совершенно независимую от свойств описываемого объекта предпосылку физической теории **).

В этой декларированной независимости геометрии от свойств объекта и лежит оправдание того утверждения, что в данной физической области можно применить любой способ описания, по соглашению, скажем, евклидову геометрию заменить римановой и т. д. Но тогда, чтобы отразить тот же опыт должны быть изменены законы физики; следовательно, можно использовать как $\Gamma_1 + \Phi_1$, так и $\Gamma_2 + \Phi_2$, $\Gamma_3 + \Phi_3$ и т. д.

Таким образом, Пуанкаре положил начало идее о существовании класса эквивалентных описаний одного и того же опыта ***).

После этих суждений Пуанкаре Рейхенбаху нетрудно было перейти от «класса эквивалентных описаний» Пуанкаре к «классу эквивалентных описаний» Рейхенбаха: вся символическая формула сохраняется, сохраняется взаимозаменяемость ее элементов, только Γ заменяется «ненаблюдаемым явлением» — «интерференomenом» (I), точнее — любой гипотезой его. И тогда «класс эквивалентных описаний» будет выглядеть так: $I_1 + \Phi_1$, $I_2 + \Phi_2$, $I_3 + \Phi_3$, . . .; каждое эквивалентное описание есть описание одной и той же совокупности восприятий — это Рейхенбах определяет точно.

*) Между тем эта формула породила тенденции рассматривать «эквивалентные формы» теории относительности с параметром ϵ в пределах $0 < \epsilon < 1$.

**) Пуанкаре писал: «Сама наша евклидова геометрия есть лишь род условного языка: мы могли бы изложить факты механики, относя их к пространству неевклидову, которое было бы основой менее удобной, но столь же законной, как и наше обычное пространство; изложение слишком осложнилось бы, но осталось бы возможным» (25^б, гл. 6).

***) Согласно Пуанкаре, можно сохранить один тот же способ описания, признав его наиболее простым и удобным, например сохранить евклидову геометрию. И тогда, если опыт изменяется, придется соответственно усложнять физику по схеме: $\Gamma_e + \Phi_1$; $\Gamma_e + \Phi_2$; $\Gamma_e + \Phi_3$; . . ., где Γ_e — евклидова геометрия.

Что же касается интерференца (И), то под ним Рейхенбах предлагает подразумевать все, что хотя бы временно, ненаблюдаемо; например, если вы отвернулись от дерева, то позади вас уже интерференца, т. е. нечто ненаблюдаемое, и вы вправе принять любую гипотезу: дерево исчезло, дерево разделилось на два, на три и т. д., но тогда вы обязаны менять физику, чтобы объяснить восприятие все той же *одной* тени (см. 2⁸). Эти рассуждения на первый взгляд выглядят наивно, но Рейхенбах предлагает вам решать в плане этой гносеологии проблемы квантовой физики, и тогда становится ясным, что, соблазняя теоретика возможностью допустить любую гипотезу о квантовом интерференце, лишь бы была объяснена совокупность восприятий, Рейхенбах неправильно ориентирует его о путях познания глубоких тайн природы.

А корни этой гносеологии идут от Пуанкаре. Имеются свидетельства, что гносеология Пуанкаре оказала известное влияние как на философов, так и на физиков. Некоторых теоретиков она, по-видимому, прельщала призраком несвязанности теоретического мышления внешними условиями. Сам Пуанкаре считал, что разум проявляет себя тем полнее, чем «больше освобождается от тирании внешнего мира»⁴³.

Был ли Эйнштейн конвенционалистом? Как относился к конвенционализму Эйнштейн? Некоторые авторы утверждают, что Эйнштейн согласился с мнением Пуанкаре о том, что тезис о постоянстве скорости света «никогда нельзя проверить прямо на опыте», что подобные определения «являются лишь плодом неосознанного соглашения». В печати появились даже утверждения, будто Эйнштейн был вынужден признать неизбежность опоры на исходные положения, имеющие конвенциональный характер. Эйнштейна упрекали в том, что, признав правильной точку зрения Пуанкаре, он не проводил ее последовательно и не проанализировал, в какой мере отдельные утверждения теории зависят от принятого соглашения.

У Эйнштейна, действительно, можно встретить утверждение, что из опыта с посылкой светового сигнала и приемом отраженного сигнала в той же точке можно сделать вывод о равенстве скоростей «туда» и «обратно» только в качестве «произвольного предположения». В частности, эта мысль была высказана им в докладе перед обществом естествоиспытателей в Цюрихе в 1911 г. Однако внимательный и непредвзятый анализ этого доклада показывает, что Эйнштейн вовсе не разделял точку зрения Пуанкаре на конвенциональный характер исходных положений теории. В упомянутом докладе Эйнштейн имел в виду показать необычную ситуацию в проблеме электродинамики движущихся тел: наличие в каждой инерциальной системе своего набора переменных (следствие принципа относительности); нарушение классического закона сложения скоростей, которое как будто приводило к «страшному заключению» — опровержению принципа относительности, а между тем сам классический закон сложения скоростей явился следствием «произвольного предположения» о физических понятиях, прежде всего об абсолютном времени; среди прочих было указано и на то, что из ограниченного («кусечного») опыта равенства скоростей в противоположных направлениях можно принять лишь как произвольное предположение, что, конечно, бесспорно. Словом, Эйнштейн стремился показать, что новая ситуация приводила к необычным выводам, вскрыла ряд «произвольных предположений» (старых и новых, действительных и мнимых) и ставила всю кинематику «с ног на голову». «Как же снова поставить на ноги кинематику?» — спрашивает Эйнштейн. И отвечает: «Ответ получается сам собой: как раз те обстоятельства, которые причиняли нам раньше мучительные затруднения, и выводят нас на пра-

вильный путь после того, как мы получим больше свободы действий, *отказавшись от указанных произвольных предположений*. Оказывается, что как раз те два на первый взгляд несовместимых постулата, на которые указывает нам опыт, а именно, принцип относительности и принцип постоянства скорости света, *приводят к вполне определенному решению проблемы преобразования координат и времени* (13, с. 183; курсив наш. — С. С.).

В сноске к этому месту Эйнштейн указывает: «Если x, y, z, t и x', y', z', t' означают пространственно-временные координаты в двух системах отсчета K и K' , то эти два основополагающих принципа требуют, чтобы уравнения преобразований были такими, что каждое из двух соотношений $x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$ и $x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2$ было следствием другого. Поскольку по причинам, которые мы здесь не будем объяснять, преобразования должны быть линейными, то, как показывает краткое исследование, тем самым устанавливается закон преобразования» (13, с. 138; курсив наш. — С. С.).

Нарисованная в докладе Эйнштейна картина зарождения и развития идей, приведших к формулировке теории относительности, совершенно ясна, и она знакома читателю уже из первой статьи 1905 г. В этой картине нет места конвенциональным идеям Пуанкаре и не возникала необходимость анализировать последствия принятых в этой концепции соглашений.

Грубое искажение позиций Эйнштейна в отношении его к конвенционализму допускает профессор философии Питтсбургского университета (США) А. Грюнбаум. Он прямо приписывает Эйнштейну конвенционалистскую мысль: «Вы можете всегда сохранить ту геометрию, которая вам нравится, с помощью соответствующей регулировки в связанных с ней корректировочных физических законах». Грюнбаум не приводит никаких ссылок, из которых было бы видно, что такая конвенционалистская мысль действительно высказана Эйнштейном. Она осталась необоснованной догадкой Грюнбаума. Зато он дословно цитирует из «Автобиографических заметок» Эйнштейна гипотетическую полемику между Пуанкаре и Рейхенбахом. Читатель помнит (см. с. 479), что Эйнштейн вообразил такую полемику, чтобы сказать, что конвенционализм Пуанкаре и Рейхенбаха мало отличимы друг от друга (это признал и Карнап³⁰). Но Грюнбаум заявил, что он имеет (??) «право заменить имя *Пуанкаре* в эйнштейновском диалоге на имя *Дюгем* и *Эйнштейн*», что он и осуществил на всем протяжении процитированного диалога, отождествив тем самым взгляды Эйнштейна со взглядами Пуанкаре и Дюгема²⁹ *).

Однако произвольная замена имен в диалоге отнюдь не доказательна. Нам придется обратиться к самому надежному источнику — рассмотреть вопрос о реальном месте, которое Эйнштейн отводит геометрии в своих теоретических исследованиях, а именно, в работах по общей теории относительности, в которой этот вопрос стал особенно актуальным.

О месте геометрии в физических исследованиях Эйнштейна. Физические идеи, которые легли в основу общей теории относительности, были сформулированы Эйнштейном сразу же после создания специальной теории относительности. Уже в 1907 г., анализируя физические процессы в неинерциальной системе, он установил, что в этих системах невозможно дать то определение измерения времени (одновременность), которое давалось им в случае инерциальных систем, ибо в неинерциальной

* Автор послесловия Э. М. Чудинов справедливо отмечает, что читатель «обнаружит серьезные искажения его (Эйнштейна. — С. С.) философской концепции. Если верить Грюнбауму, то получается, что Эйнштейн является крайним конвенционалистом дюгемпанского типа...» (29, с. 550).

системе время меняется от точки к точке, оно зависит от ускорения γ в данном элементе пространства ξ , т. е. от гравитационного потенциала $\Phi = \gamma\xi$.

Позднее (1918) Эйнштейн отмечал, что в том обстоятельстве, что в общей теории относительности связь между *входящими в уравнение* и *изменяемыми* (курсив Эйнштейна) величинами гораздо более опосредована, чем в обычных теориях, лежит, вероятно, основная трудность освоения общей теории относительности (см. ¹³, с. 621). Любопытное замечание, направленное против эмпириков и операционалистов!

Итак, для неинерциальных систем Эйнштейн нашел, что

$$\sigma = \tau \left(1 + \frac{\gamma\xi}{c^2} \right) = \tau \left(1 + \frac{\Phi}{c^2} \right)$$

(здесь σ — «местное время» точечного события в элементе пространства ξ , τ — время точечного события в начале координат). Исследуя далее влияние гравитационного поля на электродинамические процессы, Эйнштейн, естественно, нашел, что длина волны света есть также функция гравитационного потенциала и меняется от точки к точке; в частности, из этого следовало, что длина волны света, испускаемого атомами, находящимися на поверхности Солнца в точке с потенциалом Φ , соответственно увеличивается по сравнению с длиной волны света, испускаемого такими же атомами на поверхности Земли; вследствие этого должно происходить явление сдвига спектральных линий («красное смещение»).

Производя затем ряд преобразований, учитывающих новую метрику в ускоренной системе, Эйнштейн приходит к уравнениям электродинамики в этой системе, которые имеют такой же вид, как и в неускоренной системе, с тем, однако, отличием, что все электродинамические переменные оказываются умноженными на $(1 + \frac{\gamma\xi}{c^2}) = (1 + \frac{\Phi}{c^2})$, а скорость света c заменяется на c' , зависящую от гравитационного потенциала: $c' = c(1 + \frac{\Phi}{c^2})$, т. е. скорость света здесь оказывается величиной непостоянной.

Отсюда следовало новое явление: луч света в гравитационном поле должен искривляться.

Все эти ненаблюдавшиеся ранее явления были предсказаны Эйнштейном уже в статье 1907 года (см. ¹³, с. 65) (экспериментально они были подтверждены частично только в 1919 г. — искривление луча, а частично и позже).

Можно сказать, что необходимость перехода к обобщенной теории (ОТО) была осознана Эйнштейном уже в этот период, но впереди еще предстояли большие трудности, связанные с формулировкой уравнений тяготения, в которых надлежало в специфической форме выразить обобщенные физические законы. На решение этой нелегкой задачи ушло еще целое десятилетие ⁴².

Конечно, физикам весь этот путь хорошо известен. Однако нам важно подчеркнуть, что, определяя физические основы обобщенной теории, Эйнштейн ни в этой, ни в следующих за ней работах не ставил предварительного вопроса о том, на какую геометрию он будет опираться в своих исследованиях — на евклидову или риманову — как на *способ описания, выбранный по соглашению*. Не было предварительного выбора способа описания *по соглашению*, т. е. не было выбора той или иной геометрии, а было само исследование физических взаимосвязей электромагнитного и гравитационного полей, протекающих в определенных условиях. Вопрос о том, что в исследуемой области фактически меняется метрика, Эйнштейн стал обсуждать в явной форме много позже, — по-видимому, не ранее 1914—1915 гг., — когда он вплотную подошел к формулировке обще-

ковариантных уравнений для физических процессов в общей теории относительности, т. е. когда стал применять в этой теории математический (тензорный) аппарат. Исследуя вопрос о том, как влияют ускоренные системы на результаты линейных измерений и ход часов в различных точках физического пространства, Эйнштейн нашел, что конфигурация практически жестких тел во вращающейся системе «описывается геометрией Евклида неточно и что скорость хода часов является функцией точки. Другими словами, в общей теории относительности *не существует геометрии и кинематики, не зависящих от физических процессов*, так как свойства масштабов и часов определяются гравитационным полем» (13, с. 424; курсив наш. — С. С.). Именно гравитационное поле, выраженное через компоненты потенциалов g_{ih} , «представляет собой физическое состояние пространства, *одновременно определяющее тяготение, инерцию и метрику*. В этом заключается углубление и объединение основ физики, достигнутое благодаря общей теории относительности» (13, с. 424; курсив наш. — С. С.).

Таким образом, в своих физических исследованиях Эйнштейн исходил из того, что геометрия прямо зависит от физических процессов, и потому она *не есть способ описания, избираемый по соображению*, к которому физика должна была приспособляться. «Законы геометрии с этой точки зрения следует рассматривать как физические интегральные законы», — писал Эйнштейн в 1914 г. (13, с. 379) *).

Мы видим, что вслед за первым шагом — утверждением реляционного статуса пространства и времени — Эйнштейн сделал второй, естественный, шаг, раскрыв метрику как выражение объективных физических связей.

«Геометрия и опыт» Эйнштейна. Хотя при разработке общей теории относительности Эйнштейн пришел к выводу, что законы геометрии следует рассматривать как физические интегральные законы, он долгое время еще не противопоставлял в явной форме свои взгляды конвенционализму Пуанкаре. Но концепция Пуанкаре слишком сильно затронула методы работы естествоиспытателей вообще и его, Эйнштейна, методы в особенности.

В 1921 г. Эйнштейн считал себя вынужденным изложить перед Прусской Академией наук свое понимание проблемы соотношения геометрии и физики в докладе «Геометрия и опыт». В этом докладе Эйнштейн рассматривает распространенную точку зрения на геометрию как на абсолютно точную науку, диктующую свои логические схемы физике, вместе с тем не имеющую никакой связи с опытом, хотя даже самое ее название говорит о ее опытном происхождении.

Такая ситуация объясняется, по Эйнштейну, аксиоматическим методом построения самих геометрических схем. Этот метод состоит в заранее обусловленном характере логических связей произвольно принятых аксиом, по типу: если верно то-то, то будет верно то-то. В такой геометрии ни посылка, ни следствие не обусловлены опытом. И хотя в ней используются такие «геометрические» понятия, как точка, линия, плоскость и т. п., аксиоматики не вкладывают в них какого-либо определенного смысла. «При этом предполагается не знание этих объектов или представления о них, но только справедливость аксиом, таких же чисто формальных, т. е. лишенных всякого наглядного и жизненного содержания,

*) Не лишне заметить, что и евклидову геометрию Эйнштейн рассматривал под тем же углом зрения; он писал: «Забылось, что евклидова геометрия, в том виде, как она применялась в физике, также состоит из физических утверждений, которые с физической точки зрения устанавливались из интегральных законов ньютоновской механики точки» (13, с. 379).

как в приведенном выше примере. Эти аксиомы — свободные творения человеческого разума. Все остальные теоремы геометрии являются логическими следствиями этих аксиом (не имеющих реального прообраза)»¹⁴, с. 84).

Таким образом, аксиоматическая геометрия представляет собой только логическую схему, которая к содержанию не имеет отношения. «Если же отвлечься от связи между телом аксиоматической евклидовой геометрии и реальным практически твердым телом, то мы легко приходим к точке зрения, которой придерживался такой оригинальный и глубокий мыслитель, как Анри Пуанкаре: евклидова геометрия отличается от всевозможных аксиоматических геометрий своей простотой»¹⁴, с. 85). Но, как мы видели, за простоту геометрии приходится платить усложнением физики. «Таким образом, — резюмирует Эйнштейн взгляды Пуанкаре, — можно произвольно выбрать как (Γ), так и отдельные части (Φ): все эти законы представляют собой соглашения. Во избежание противоречий необходимо оставшиеся части (Φ) выбрать так, чтобы (Γ) и полная (Φ) вместе оправдывались на опыте. При таком воззрении аксиоматическая геометрия с точки зрения теории познания равноценна возведению в ранг соглашения части законов природы»¹⁴, с. 86).

«Sub specie aeternitatis hat Poincaré mit dieser Auffassung nach meiner Meinung recht», — продолжает Эйнштейн: «Такое воззрение Пуанкаре, по моему мнению, верно с точки зрения вечности» (т. е. неизменности воззрения, его абстрактности, оторванности от конкретного рассмотрения связей) *). Ввиду этого он считает применение аксиоматической геометрии в физике неправомерным, указывая на то, что физик имеет дело не с аксиоматической геометрией, а с *практической*. «Ясно, что из системы понятий аксиоматической геометрии нельзя получить никаких суждений о таких реально существующих предметах, которые мы называем практически твердыми телами. Чтобы такого рода суждения были возможны, мы должны лишить геометрию ее формально-логического характера, сопоставив пустой схеме понятий аксиоматической геометрии реальные объекты нашего мира»¹⁴, с. 85).

Эту операцию Эйнштейн проводит, сопоставляя поведение «практически твердых тел» евклидовой геометрии в целом: «твердые тела ведут себя в смысле различных возможностей конфигурации, как тела евклидовой геометрии трех измерений»¹⁴, с. 85). Утверждения практической геометрии «покоятся существенным образом на выводах из опыта, а не только на логических заключениях». Без такого понимания геометрии, говорит Эйнштейн, «я не смог бы установить теорию относительности. Именно, без нее было бы невозможно следующее соображение: в системе отсчета, которая вращается относительно некоторой инерциальной системы, законы конфигурации твердых тел не соответствуют правилам евклидовой геометрии вследствие лоренцева сокращения; таким образом, допуская равноправное существование неинерциальных систем, мы должны отказаться от евклидовой геометрии»¹⁴, с. 85).

Но аксиоматики утверждают, что в реальном мире нет объектов, в точности соответствующих понятию твердого тела или часов, — понятий, используемых в теории относительности. Мы видим, как настойчиво

*) Как следует из всего контекста и последующих заключений Эйнштейна (см. следующую в тексте цитату), приведенную фразу нельзя переводить словами: «По моему мнению, такое воззрение Пуанкаре с *принципиальной точки зрения совершенно правильно*», как это было переведено в издании «Научного книгоиздательства» в 1922 г. и как это автоматически перенесено в¹⁴, с. 86. Не имея под руками подлинника и доверяя этому переводу, автор когда-то неточно, в духе перевода, изложил позицию Эйнштейна по этому вопросу³¹; курсив наш. — С. С.

навязывается эта идея: теории можно создавать только после того, как *условились* относительно смысла, какой будет вкладываться в то или иное исходное понятие. Эйнштейн дает на это глубокий ответ. Да, таких идеально твердых тел и часов нет. «Ясно также, что твердое тело и часы не являются первоначальными понятиями, но представляют собой понятия сложные, которые не могут играть самостоятельной роли в теоретической физике» (14, с. 86).

Именно здесь впервые в явной форме высказывается взгляд, что понятия и теория взаимосвязаны *); мы уже знаем из информации Гейзенберга, что пять лет спустя Эйнштейн высказывал в беседе с ним близкие идеи, а в конце 40-х годов в ответах Бриджмену и Рейхенбаху дал наиболее развернутую формулировку их.

Однако в 1921 г. в своих соображениях против аксиоматиков он пытался подойти еще и с другой стороны. Хотя и верно, что понятия твердого тела и часов не имеют вне теории самостоятельного значения, но «пока мы еще так далеки от надежного знания теоретических основ атомистики, что не можем дать точную теоретическую структуру этих образований»; поэтому мы вынуждены пользоваться ими как самостоятельными понятиями. Какой же смысл мы можем в них вложить?

Абсолютно твердых тел в реальности нет. Но существуют такие свойства реальных тел, которые настолько определены, что позволяют использовать эти тела как практически твердые. Свойства эти выражаются в следующих принципах практической геометрии, имеющих опытное происхождение: «а) два отрезка называются «равными друг другу», если концы одного отрезка можно длительное время совмещать с концами другого, б) если два отрезка в какой-то момент времени в каком-то месте оказались равными, то они будут равны всегда и везде».

Эти принципы имеют всеобщее значение. «Не только практическая евклидова геометрия, но и ее непосредственное обобщение — практическая риманова геометрия, а вместе с ней и теория относительности, покоится на этом предположении» (14, с. 87).

Опираясь на эти положения и используя явление распространения света в пустом пространстве, которое связывает промежутки времени и расстояния, можно вывести аналогичные заключения и для промежутков времени, измеряемых часами: «...Если двое идеальных часов в какой-нибудь момент времени и в каком-нибудь месте идут совершенно одинаково (причем они находятся в непосредственной близости друг к другу), то они всегда будут иметь одинаковый ход независимо от того, где и когда (в одном и том же месте) их будут сравнивать» (14, с. 87).

Эйнштейн подчеркивает, что это не условное и не фантастическое положение. «Если бы это положение не выполнялось для часов в природе, то собственные частоты атомов одного и того же элемента не согласовывались бы между собой с той точностью, какую демонстрирует эксперимент. Существование спектральных линий является убедительным доказательством правильности упомянутого выше принципа практической геометрии. В конечном счете это и служит основанием для возможности осмысленных высказываний о метрике в смысле четырехмерного риманова пространственно-временного континуума».

Мы не можем не отметить здесь, с каким глубоким анализом подходит Эйнштейн к экспериментальным фактам, смысл которых, казалось бы, уже был постигнут.

Ясно, какой заключительный ответ дает Эйнштейн Пуанкаре: «Согласно выдвинутому здесь взгляду, *вопрос о том, имеет ли этот континуум*

*) В неявной форме эта взаимосвязь была учтена уже в статье 1905 года.

евклидову, риманову или какую-либо другую структуру, является вопросом физическим, ответ на который должен дать опыт, а не вопросом о выборе на основе простой целесообразности» (14, с. 87; курсив наш.— С. С.).

Спустя четыре года Эйнштейн опубликовал статью «Неевклидова геометрия и физика». И в ней он критикует конвенциональный подход Пуанкаре к выбору геометрии, его предпочтение евклидовой геометрии как наиболее простой и защищает точку зрения практической геометрии «как наиболее отвечающей современному состоянию наших знаний».

И мы снова убеждаемся, что Эйнштейну был чужд метод конвенциональных определений *).

«Честь, предоставленная Эйнштейну». Молчание Пуанкаре. Вернемся теперь к вопросам, поставленным в начале этого раздела.

Почему Пуанкаре не завершил создание теории относительности и «предоставил эту честь» Эйнштейну?

Потому, что теория относительности, как и любая физическая теория, могла быть построена только как теория, отражающая реальные связи природы на всех этапах ее становления — от исходных принципов до проверки следствий. Но отвечать задаче отображения законов природы научная теория может только при условии, что она неизменно опирается на информацию, которую теоретик получает от взаимосвязи с самой природой, она *жестко связана этой информацией*.

Пуанкаре же не рассматривал теорию как отражение внешнего мира; по его мнению, она есть система упорядочения восприятий, которая может осуществляться в любых формах, по соглашению. Еще в 1908 г. В. И. Ленин, критикуя позитивистские взгляды Пуанкаре, писал: «Для Пуанкаре [...] законы природы суть символы, условности, которые человек создает ради *удобства*». «Единственная настоящая объективная реальность есть внутренняя гармония мира», причем объективным Пуанкаре называет общезначимое, признаваемое большинством людей или всеми³², т. е. чисто субъективистски уничтожает объективную истину, как все махисты...»³³. Давая эту оценку, Ленин ссылается также и на свидетельство известного неопозитивиста Ф. Франка, который утверждал, что для Пуанкаре «многие наиболее общие положения теоретического естествознания (закон инерции, сохранения энергии и т. п.)» не принадлежат ни к положениям эмпирического происхождения, ни к априорным, «будучи чисто условными посылками, зависящими от человеческого усмотрения» (см. ³³). Близкий по духу к Пуанкаре Ф. Франк восторгается тем, что новейшая натурфилософия «возобновляет неожиданным образом основную мысль критического идеализма, именно, что опыт только наполняет рамку, которую человек приносит с собой на свет» (см. ³³).

*) Здесь уместно добавить, что еще в 1835 г. Н. И. Лобачевский писал, что напрасное старание на протяжении двух тысяч лет доказать теорему о параллельных заставило его «подозревать, что в самих понятиях еще не заключается той истины, которую хотели доказывать и которую проверить, подобно другим физическим законам, могут лишь опыты, каковы, например, астрономические наблюдения» (27, с. 61, 62). И далее: «... Некоторые силы в природе следуют одной, другие своей особой геометрией» (27, с. 64). Б. Риман высказывал (1866) близкие соображения, что свойства пространства «могут быть почерпнуты не иначе, как из опыта» (27, с. 310). Тех же взглядов держался К. Гаусс.

В понимании зависимости геометрии от реальных физических законов Эйнштейн был ближе к Лобачевскому и Риману, чем к Пуанкаре.

Почему мы напоминаем об этих философских взглядах Пуанкаре и о критике их Лениным, если речь идет всего лишь об отношении Пуанкаре к теории относительности Эйнштейна? Потому что в философии Пуанкаре был *воинствующим* мыслителем: он всегда ставил задачу истолкования результатов физических исследований в целях подтверждения своей философской концепции. Конвенционалистская гносеология не позволила ему обобщить результаты исследований электродинамики своего времени и завершить это обобщение в последовательной теории, выражающей закономерности внешнего мира. По существу, это признает и де Бройль в указанной выше речи, в которой говорил, что Пуанкаре, будучи чистым математиком, «занимал по отношению к физическим теориям несколько скептическую позицию, считая, что вообще существует бесконечно много логически эквивалентных точек зрения и картин действительности, из которых ученый, руководствуясь исключительно соображениями удобства, выбирает какую-то одну. Вероятно, такой номинализм иной раз мешал ему признать тот факт, что среди логически возможных теорий есть такие, которые ближе к физической реальности, во всяком случае, лучше согласуются с интуицией физика, и тем самым больше могут помочь ему»²². В 1955 г., повторив это утверждение, Луи де Бройль добавил: «Если эта точка зрения верна, то именно эта философская склонность его ума к «номиналистскому удобству» (а ведь это и есть позиция конвенционализма.— С. С.) помешала Пуанкаре понять значение идеи относительности во всей ее грандиозности!»²⁴.

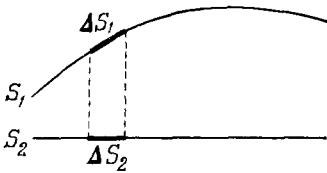
И это верно: Пуанкаре не оценил масштабности и реалистичности трудов Эйнштейна. И его молчание вызвано не тем, что он был недоволен внешней, якобы недостаточно простой и недостаточно гибкой, формой теории Эйнштейна. Нам представляется, что молчание Пуанкаре в первые годы после выхода первой и основоположной статьи Эйнштейна объясняется тем, что ему казалось неясным, как можно и можно ли переосмыслить развитую Эйнштейном теорию в свете собственной концепции. Ни принять ее полностью, ни отклонить он не мог. Это было столкновение двух методов при разработке конкретных физических проблем, в котором конвенционализм терпел поражение. Лишь после семилетнего молчания, незадолго перед кончиной, в 1912 г. Пуанкаре подготовил статью «Пространство и время», в которой обсудил вопрос о том, вынуждает ли «принцип относительности Лоренца» изменить отношение к высказанному им ранее утверждению, что «геометрия должна быть соглашением, и принцип относительности должен рассматриваться как соглашение». И, поставив вопрос: «Каково будет наше отношение к этим новым представлениям? Заставят ли они нас изменить наше заключение?»—Пуанкаре ответил: «Нет: мы приняли некоторое соглашение потому, что оно казалось нам удобным, и сказали, что ничто не заставит нас от него отказаться. Теперь некоторые физики хотят принять новое соглашение. Это не значит, что они будут вынуждены это сделать; они считают новое соглашение более удобным, вот и все; и те, кто не придерживается этого образа мыслей, могут вполне законно сохранить старый, чтобы не нарушать своих старых привычек. Между нами говоря, я думаю, что они это еще долго будут делать»²⁵.

Вот что только и мог сказать великий математик по поводу новых физических идей (которые он относит даже и не к Эйнштейну, а к Лоренцу). Даже в то время это звучало как слабая защита гносеологических взглядов конвенционализма, на которые наступала развивающаяся физика, в историческом же аспекте несостоятельность такого заключения стала еще более очевидной. Перспективной оказалась не конвенционалистская линия Пуанкаре, а реалистическая линия Эйнштейна.

V. О РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАХ ОПИСАНИЙ

Как сказано выше, конвенционалисты утверждают, что форма описания опыта может быть избрана по соглашению, и уже к этой форме должна приспособляться физика. Нам представляется, что в литературе вопрос об «эквивалентных» описаниях поставлен слишком схематично, он требует обсуждения.

О тождественных описаниях на основе одно-однозначного соответствия. Наглядную картину того, как сказываются различные методы описания на содержании физических законов, иногда демонстрируют с помощью графического метода (см., например, ³⁰).



На рисунке изображены ограниченная дуга S_1 и отрезок прямой S_2 . Представим себе, что из каждой точки дуги S_1 опущен перпендикуляр к прямой S_2 . Он связывает две соответственные точки на обеих линиях (одно-однозначное соответствие). Будем сле-

дить за движением бесконечно малого отрезка ΔS_1 слева направо и за характером движения его проекции ΔS_2 . Пусть известен физический закон движения отрезка ΔS_1 : его длина остается неизменной. Как будет изменяться движущаяся проекция ΔS_2 ? Сначала она будет удлиняться, а затем укорачиваться. Вообразим, что факт движения отрезка по дуге S_1 означает, что физик использовал один способ описания, например геометрию Римана, а движение по S_2 — другой способ описания — геометрию Евклида. Тогда для проекции физик запишет другой закон движения: он введет в свою запись «поправочные члены» — силы, сначала растягивающие, а затем сжимающие. Геометрия на S_2 проще, чем на S_1 , но физические законы оказались более сложными. Именно это и утверждает Пуанкаре: от избранного способа описания зависят законы физики. А какой способ описания выберет физик — дело соглашения.

Как будто нельзя отказать в логичности этим рассуждениям и можно принять идею о классе эквивалентных описаний. Однако можно заметить их абстрактный схематизм. Как отмечал Эйнштейн (см. с. 490), подобные рассуждения у Пуанкаре верны абстрактно — *sub specie aeternitatis* — с точки зрения вечности.

Реальный же процесс познания не ограничивается определенным уровнем, оно *неизменно углубляется*. Это означает, что при сохранении простейшего способа описания (I') пришлось бы добавлять все новые «поправочные члены», и так до бесконечности. Тогда процесс познания будет напоминать метод нарастающих гипотез Лоренца, при котором каждое новое открытие, нарушающее исходную картину представлений, объясняется введением новых гипотез.

Движение познания может вообще опрокинуть аргументы абстрактного одно-однозначного соответствия двух описаний: на какой-то стадии познания может обнаружиться несовпадение следствий двух описаний, и тогда окажется, что два способа описания вовсе не тождественны, а один из них глубже проникает в сущность природы. Чтобы показать, что это имеет место в истории познания, сошлемся на убедительный исторический пример. Мах в своем историко-критическом очерке «Механика» ³⁶ (высоко оцененном в свое время крупными учеными, в том числе и Эйнштейном) провел на протяжении всей книги идею, что все принципы механики — принцип Ньютона, принцип возможных перемещений, принцип Гамильтона и другие — эквивалентны друг другу, ибо с помощью любого из них

можно решать задачи механики. И действительно, на определенном этапе познания такой вывод был возможным, но только потому и до тех пор, пока Мах насильственно сводил все задачи механики только к одной — к действию тел, вызывающих друг в друге ускорения, обратно пропорциональные их массам. Но развитие знания показало, что и задачи механики более сложны, и принцип Гамильтона проникает в сущность природы гораздо глубже других принципов механики: хотя он и сформулирован впервые в области и на языке механики, он позволяет решать проблемы атомной физики.

Читатель, наверное, знает немало таких преобразований понятий, углубления «способов описаний», относительный и исторический характер эквивалентности различных способов описаний, и мы еще приведем ниже подобные примеры.

Сказанное означает, что различные способы описания одного и того же опыта следует оценивать не в свете статического состояния знания, как это делали Пуанкаре и Рейхенбах, а в аспекте *развития знания*, в свете анализа связи того или иного способа описания с предшествующим знанием, но, что не менее важно, также и в свете *перспективности* данного способа описания для дальнейшего углубления знания. А эта перспективность раскрывается лишь тогда, когда способ описания имеет объективное основание.

О различных способах описания, имеющих объективное основание. Одно-однозначное соответствие можно реализовать заменой в уравнениях всех переменных их линейными функциями. Широко известными примерами подобных замен являются переходы от одних систем координат к другим (например, от декартовых к полярным, криволинейным и т. п.) или от одной системы единиц к другой *). Подобные операции видоизменяют внешнюю форму уравнений, в ряде случаев могут даже упростить расчеты, но они не раскрывают новых связей в природе, не приводят к более глубокому уровню знания. Попытки выдать подобные преобразования за новое слово в науке вызывает вполне закономерные возражения (см., например, статью Б. Б. Кадомцева и его соавторов ³⁷).

Но в физике можно встретить примеры сосуществования различных форм описания, которые получаются, однако, не методом одно-однозначного соответствия, а в результате различных и независимых путей поисков и открытий. Обратимся к примерам.

Пример первый — матричный и волновой аспекты квантовой механики. Каждый из этих аспектов имеет свои основания в квантовых явлениях, в их двойственной природе, и ни один из них не является предметом условного соглашения; они не тождественны, как полагают некоторые авторы, так как один аспект характеризует изменение состояния системы при постоянных динамических переменных, а другой — изменение динамических переменных при постоянном состоянии (см., например, ³⁸); но оба

*) Возможность подобных замен Пуанкаре применял как аргумент в пользу концепции конвенционализма (см., например, ^{25 б}, с. 152). Однако эта возможность служить таким аргументом не может. В самом деле, применение той или иной системы единиц (или системы координат) не меняет соотношений в самом измеряемом объекте и сказывается только в том, что в описание объективных связей войдут некоторые безразмерные коэффициенты, характеризующие соотношения между различными единицами измерения (или координатами). Но Пуанкаре неправомерно перенес свои суждения и на геометрию. Между тем та или иная геометрия отражает соответствующую метрику, реализованную в самом объекте, и использование для описания его связей заранее избранной геометрии с произвольной метрикой не помогает раскрытию объективных связей. Конвенционализм как гносеология не находит подтверждения.

аспекта взаимосвязаны, что и раскрывается в обобщенной теории операторов.

Пример второй. Существуют две формы описания комбинационного рассеяния света — классическая и квантовая. Классическая теория развита Г. С. Ландсбергом и Л. И. Мандельштамом; она опирается на классическое представление о модуляции рассеивающегося света колебаниями атомов в молекулах или в узлах кристаллической решетки. Эта теория не дает правильного соотношения между интенсивностями стоксовых и антистоксовых компонент исходной спектральной линии и их зависимостью от температуры. Квантовая же теория (на необходимость ее сразу же указали Ландсберг и Мандельштам) опирается на объективные же, но более глубокие свойства излучающих систем; она справедлива для всех температур, включая и низкие.

Уже из этих примеров видно, что в науке могут встречаться различные формы описания одной и той же области явлений, однако это не является аргументом в пользу конвенционализма, ибо эти описания не тождественны по существу и различаются тем, что либо они отражают несводимые друг к другу взаимодополнительные моменты реальности, либо одно из описаний выражает более глубокий уровень проникновения в природу явлений, что может раскрыться и не сразу.

Поиски различных форм описания в этом плане естественны, неизбежны и желательны. Они отражают многообразие свойств природы и возможных связей с ней, помогают отысканию оптимальных путей исследования. Но это обязывает теоретика в каждом случае отыскивать те объективные свойства, которые легли в основу данной формы описания. Тщательный анализ их — важная задача теоретика. Это — неизбежный путь к выявлению границ применимости и потенциальных возможностей каждого из параллельных описаний. И это путь к обобщающим теориям.

Эйнштейн и проблема различных форм описания. Естественно, что для Эйнштейна, который совершал перевороты в развитии науки, проблема возможности различных описаний одних и тех же фактов стояла очень актуально. Обратимся к тому, что он писал по этому поводу:

«Для одного и того же комплекса опытных фактов может существовать несколько теорий, значительно отличающихся друг от друга. Но в отношении выводов из теорий, которые доступны для опытной проверки, согласие между теориями может быть настолько полным, что трудно найти такие следствия, в которых эти теории отличаются друг от друга... Случай далеко идущего совпадения следствий двух теорий встречается в механике Ньютона, с одной стороны, и в общей теории относительности — с другой. Это совпадение идет настолько далеко, что до настоящего времени мы смогли найти лишь немного допускающих опытную проверку следствий общей теории относительности, к которым не приводила дорелятивистская физика; и это несмотря на глубокое различие основных предпосылок обеих теорий» (13, с. 593—594). Напомним, что Эйнштейн писал это в 1917 г., когда общая теория относительности была уже создана, но ни одно ее следствие еще не было подтверждено экспериментально.

Подчеркнем ситуацию, которая отмечена Эйнштейном: 1) теория относительности предсказывала все те следствия, проверяемые экспериментами, что и теория Ньютона; но Эйнштейн не делал из этого вывода, будто обе теории тождественны; 2) напротив, он был убежден, что «глубокое различие основных предпосылок обеих теорий» непременно должно привести к различию в следствиях; 3) все же он высказывал сожаление, что смог найти лишь немного следствий, допускающих опытную проверку ОТО, да и то еще неосуществленную.

По-видимому, последнее в какой-то мере беспокоило Эйнштейна, ибо еще ранее он отмечал: «В разительном контрасте с глубоким изменением, внесенным общей теорией относительности в основы физики, находится ничтожное различие между количественными предсказаниями новой и старой теории» (13, с. 424).

Но, разумеется, для беспокойства не было оснований. То, что к тому времени он «смог найти» только три известных следствия, предсказываемых ОТО (позднее они все были подтверждены экспериментально), это и неудивительно, ибо это определялось уровнем и возможностями астрофизических исследований того времени*). Что касается малого числа новых предсказаний, то этот факт не имеет принципиального значения: уже и он доказывает, что обе теории нетождественны не только в отношении предпосылок, но и в отношении следствий.

Но общей теории относительности предстояло еще и новое испытание, связанное с конфронтацией со стороны идей, имеющих корни в концепции Пуанкаре и в его утверждении, что геометрия не только независима от физики, но и ее конвенциональный выбор определяет законы последней, что на всех уровнях познания можно (и даже желательно) удерживать геометрию Евклида и плоское пространство**).

Речь идет о попытках доказать, что релятивистские явления гравитации отображаются не только общей теорией относительности (ОТО), но также и другой теорией — релятивистской теорией тяготения в плоском пространстве (РТТПП), разрабатываемой У. Тиррингом, а также другими исследователями³⁹. Некоторые авторы утверждают, что обе теории полностью тождественны в отношении любых наблюдаемых эффектов. Действительно, Тирринг и другие теоретики показали, что некоторые важные эффекты (например, искривление луча света, красное смещение в гравитационном поле) можно представить как эффекты в плоском пространстве, наряду с отображением их в ОТО, вводящей кривизну римановой геометрии.

Небезынтересно, что Эйнштейн рассматривал вопрос и о возможности сохранения евклидовой геометрии; для этого надо было бы получить уравнения для физических процессов с учетом того, что взаимосвязь величины g_{ik} с гравитационным полем не предполагается. Но это привело бы к таким требованиям, которыми «законы евклидовой геометрии были бы сведены к дифференциальным уравнениям; однако,— заключает Эйнштейн,— при такой формулировке существа дела чувствуется, что с точки зрения последовательного проведения теории близкодействия эта возможность отнюдь не является наиболее простой и очевидной» (см. 13, с. 379).

Это предположение Эйнштейна подтверждается тем, что попытка создать релятивистскую теорию тяготения в плоском пространстве была осуществлена только спустя почти полвека после формулировки общей теории относительности, и, как мы увидим дальше, она, естественно, оказалась ограниченной и может рассматриваться только как приближение, не претендующее на большее.

Как отмечают Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков в своей книге⁴⁰, отказ от идеи кривизны пространства-времени приводит к необходимости допустить физически необоснованные предпосылки (изменение уравнений Максвелла в вакууме и соответственно отказ от положения о постоянстве

*) Как известно, к середине 70-х годов астрофизика обогатилась многими крупными открытиями, от которых физики ждут новых подтверждений идей ОТО.

***) Напомним, что относительно пространства и времени Пуанкаре прямо утверждал: «Не природа навязывает их нам, а мы налагаем их на природу, потому что мы находим их удобными...» (32, с. 7).

скорости света в нем; введение абсолютного времени, не обнаруживаемого никаким опытом, и т. п.) *).

А самое существенное с гносеологической точки зрения состоит в том, что попытка создать теорию гравитации в плоском пространстве, приводя к совпадающим результатам в простейших задачах, оказывается бессильной при решении новых и более сложных задач, в космологии, где исследователь имеет дело с сильными полями, гравитационным дефектом масс и другими сложными проблемами. Если при решении простейших задач две теории выступают как конкурирующие, и предпочтение одной из них конвенционалисты считают делом соглашения, то при возникновении более сложных задач эти аргументы оказываются несостоятельными.

Таким образом, две системы описаний одних и тех же результатов эксперимента могут казаться эквивалентными (и даже тождественными) только на каком-то начальном этапе познания, а дальнейшее развитие знания покажет их различие и нетождественность, выявит перспективность одних и неперспективность других **).

VI. ОБЩИЕ ИТОГИ

Эйнштейн как автор теории относительности. Какие же общие итоги можно подвести, обозревая то, что сделал Эйнштейн, развивая идеи относительности? Они таковы:

1. Эйнштейн дал теории относительности и обоснование, и толкование, нашел ее важнейшие следствия. Его роль не сводится к построению последнего связующего замка в арке, построенной предшественниками. Здание теории относительности он возводил с самого основания, отправляясь от уточнения существовавших трактовок электродинамики Максвелла и от экспериментального обоснования принципа относительности и раскрытия его глубокого физического содержания. Это содержание он увидел прежде всего в инвариантности законов природы во всех инерциальных системах, а как следствие этого — в том, что каждая ИС обладает собственным набором переменных, связанных с набором переменных других ИС определенными преобразованиями. Особенность в оценке Эйнштейном значения принципа относительности состояла в том, что он перевернул задачу исследования — сделал принцип относительности не конечной целью исследования, а исходным пунктом и ключом для последующих обобщений, которые он и реализовал.

2. Эйнштейн коренным образом изменил метод анализа фактического материала и вывода теории; он отказался от классического метода нарастающих гипотез, стоявшего на пути коренной перестройки устаревших исходных представлений, возвысил значение проверенной опытом (адекватной) теории (электродинамики Максвелла) и со всей силой подчеркнул реляционный (взаимосвязанный) статус всех входящих в теорию параметров, в том числе пространства и времени, в силу чего пространство и время потеряли статус субстанциональности и абсолютности. Это привело Эйнштейна к пониманию, что геометрия выступает не как форма описания физических фактов мира, избираемая конвенционально, а как существенный момент физической взаимосвязи в нем, как система теорем, отражающая присущую ему метрику.

*) За подробностями отсылаем к указанной книге.

**) Замечательно, что Эйнштейн оценивал физические теории именно с точки зрения перспектив дальнейшего развития знания. Уместно напомнить его слова, сказанные им в связи с оценкой взаимосвязи специальной и общей теории относительности: «Лучший удел физической теории состоит в том, чтобы указывать путь создания новой более общей теории, в рамках которой она сама остается предельным случаем» (43, с. 568).

3. Эйнштейн не только дал физическое обоснование теории относительности, показал ее содержание и ее основные следствия, но и представил ее как переходную ступень к теории с более широкими обобщениями, позволяющими подойти к рассмотрению вопросов космологического порядка. Такой разворот исследований в деятельности одного ученого уникален в истории физики.

Без той концепции, без той внутренней логики, какие придал теории относительности Эйнштейн, нельзя было бы создать общую теорию относительности, нащупать связь между массами, гравитационными полями и излучением, т. е. нельзя было бы прорваться к проблемам космологии. Именно последующее развитие знания, т. е. создание общей теории относительности, осветило смысл и значение эйнштейновской теории относительности (специальной).

4. Сказанное позволяет считать, что «именно Эйнштейн является автором теории относительности в собственном смысле слова»³⁷.

Вся теория Эйнштейна — от исходных, экспериментально обоснованных принципов до практически важных выводов — представляет собой логически связанную и ясную целостность, и потому она производит неотразимое впечатление.

Эйнштейн не следовал целостной философской системе и даже считал, что для естествоиспытателя это следование невозможно (¹, с. 307). И, несомненно, в его спорадических философских высказываниях встречаются сомнительные рассуждения по поводу мышления как «свободной игры с понятиями», смысл которой будто бы состоит в достижении при ее помощи «возможности обзреть чувственные восприятия» (¹, с. 261)*). Подобные высказывания Эйнштейна не отличаются от суждений многих крупных ученых, в частности от суждений Пуанкаре.

Однако Эйнштейн сам внушал: не слушать то, что ученые сами говорят о своем методе, а лучше изучать их действия (¹, с. 181). Это мы и пытались реализовать, прослеживая путь Эйнштейна, приведший его к созданию теории относительности. И мы видим, что как естествоиспытатель, Эйнштейн относил результаты своих исследований к внешнему миру, к природе, в познании которой он видел свою непосредственную задачу. Как мы видели, этой задаче он подчинил и свои теоретические исследования. И неудивительно, что эта позиция естествоиспытателя, страстно желающего раскрыть тайны природы, привела его к критике конвенционализма и его методов. При этом надо особо подчеркнуть, что Эйнштейн критиковал конвенционализм Пуанкаре не с позиций философа, а с позиций физика, ибо он отлично понимал, что конвенционализм Пуанкаре стоит на пути развития физики (**).

И, однако, те глубокие гносеологические решения, которые Эйнштейн нашел и успешно применил при создании основ теории относительности, он не развил в полной мере в отношении к новым проблемам, возникшим при исследовании атомной физики. И это находится в глубоком противоречии с тем удивительно смелым и огромным вкладом в развитие физики, который он сделал, доказав, к недоумению ведущих физиков того времени, наличие квантовой структуры света, а далее в ряде блестящих исследований показал, что квантовые взаимосвязи глубоко проникают во все физические явления (теория теплоемкости твердых тел, фотоэффект,

*) Подробное изложение философских взглядов Эйнштейна см. ³¹.

***) Это было бы полезно учесть тем, кто считает, что есть конвенционализм физический — приемлемый, а есть конвенционализм философский, который остается где-то за пределами конкретных наук, и пусть его обсуждают философы.

испускание и поглощение излучения и другие), чем дал толчок к применению квантовых идей для объяснения закономерностей спектрального излучения атомов.

И несмотря на это, в квантовой области он поддерживал классические представления об абстрактном объекте и его свойствах, о причинной связи в ее классическом понимании. Эта защита классических представлений была формой его протеста против новых веяний, утверждавших, будто физический объект сводится к явлениям в приборе, а взаимосвязи в природе имеют характер абсолютных случайностей, якобы исключают тенденции закономерного развития целостных систем. Но Эйнштейн не учел, что сама атомная физика дает основания для вывода о том, что понятия и физического объекта, и взаимосвязей изменяются, становятся более глубокими, теряют характер *sub specie aeternitatis*.

Мы можем строить догадки, что понять это Эйнштейну помешало то, что диалектический характер познания он постигал только стихийно, а также и то, что его отталкивали многие, плохо сформулированные, часто под влиянием позитивистских философий (Кьеркегор, Гёфдинг), одно-сторонне гиперболизированные суждения его оппонентов, суждения, которые к тому же сами претерпевали эволюцию. Возможно, что все это и привело к тому, что сделал столь много для развития квантовых идей, он отказался участвовать в выработке квантовой теории, несмотря на обращение к нему ученых в критический период развития физики ⁴¹ *). В этот период Эйнштейна целиком поглотила идея охвата всех закономерностей мира в единой полевой теории, и он недооценил, что без того вклада, который вносит в познание природы квантовая физика, эта задача невыполнима.

Теоретические труды Эйнштейна вследствие своей глубины и объективного характера оказали огромное влияние на все разделы физических наук — от атомной физики до космологии. Они во многом определили уровень современной техники; в частности, они дали обоснование для развития весьма важной ее области — лазерной техники и, самое главное, раскрыли перспективы решения актуальнейшей для человечества проблемы, проблемы энергетики будущего, теоретически доказав возможности высвобождения атомной энергии.

Вклад Эйнштейна в развитие современной физики столь велик, что его имя навсегда останется в истории человеческой цивилизации.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Эйнштейн А. Собр. науч. трудов. Т. IV. — М.: Наука, 1967.
2. Лоренц Г. А. Электромагнитные явления в системе, движущейся с любой скоростью, меньшей скорости света (1904). — В кн. Принцип относительности: Сборник работ классиков релятивизма. — М., 1935. — С. 39.
3. Лоренц Г. А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения (1909). — 2-е изд. — М.: Гостехиздат, 1956.
4. L o r e n t z H. A. — *Astrophys. J.*, 1928, v. 68, p. 385, 386. — Цитир. по статье ⁵.
5. Кесуани Дж. Возникновение теории относительности. — В кн. ⁶. — С. 262.
6. Принцип относительности. Сб. статей — М.: Атомиздат, 1973.
7. *Phys. Zs.*, 1910, Bd. 2, S. 1234.
8. Борн М. Физика в жизни моего поколения. — М.: ИЛ, 1963.
9. Борн М. Физика и относительность: (лекция в Берне в 1955 г. на Международной конференции, посвященной 50-летию теории относительности). — В кн. ⁸, с. 320—321.
10. Ленин В. И. Полн. собр. соч.; т. 29: Философские тетради, с. 192.

*) А. Ф. Иоффе в беседе с Эйнштейном (1926) по этому поводу так характеризовал этот критический период: «Нельзя не видеть тумана мистики, который обволакивает четкие контуры физики; в науку вливается неверие в свои силы, отказа от реальности самой природы. Выход один — Эйнштейн обязан выполнить свой долг и не имеет права скрываться в пучинах единого поля» (⁴¹, с. 5).

11. Суворов С. Г.— УФН, 1970, т. 100, с. 64.
12. Максвелл Дж. Кл. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля.— М.: Гостехиздат, 1952.
13. Эйнштейн А. Собр. науч. трудов. Т. I.— М.: Наука, 1965.
14. Эйнштейн А. Собр. науч. трудов. Т. II.— М.: Наука, 1966.
15. Мандельштам Л. И. Полн. собр. трудов. Т. V.— М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1950.
16. Молчанов Ю. Е. Четыре концепции времени в философии и физике.— М.: Наука, 1977.
17. Паули В. Теория относительности.— М.: Гостехиздат, 1947.
18. Фейнберг Е. Л.— УФН, 1975, т. 116, вып. 4.
19. Albert Einstein: Philosopher-Scientist/Ed. P. A. Schilpp.— N.Y., 1949.
20. Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher/Hrsg. Dr. P. A. Schilpp — Stuttgart: 1955.— S. 493.— Немецкое издание сб.¹⁹.
21. From a Life of Physics: Evening Lectures at the International Centre for Theoretical Physics.— Vienne: IAEA — p. 36—37. Перевод (уточнен): УФН, 1970, т. 102, вып. 2.
22. Де Бройль Л. Анри Пуанкаре и физические теории.— В кн. Избранные труды Анри Пуанкаре. Т. III.— М.: Наука, 1974.— С. 707.
23. Бриллюэн Л. Новый взгляд на теорию относительности.— М.: Мир, 1972.
24. Голдберг С. Молчание Пуанкаре и теория относительности Эйнштейна.— В кн. Эйнштейновский сборник. 1972.— М.: Наука, 1974.
25. а) Poincaré H. La Science et l'Hypothèse.— Paris. Flammarion, 1902.
б) Пуанкаре А. Наука и гипотеза/Пер. А. И. Бачинского и М. М. и Р. М. Соловьевых; с предисл. М. А. Умова.— М.: 1904.
26. Пуанкаре А. Измерение времени.— В кн. Избранные труды Анри Пуанкаре. Т. III.— М.: Наука, 1974.— С. 427, 428.
27. Об основаниях геометрии: Сб. статей — М.: Гостехиздат, 1956.— С. 398.
28. Reichenbach H., Philosophic Foundations of Quantum Mechanics.— Berkeley; Los Angeles: University of California Press, 1965.
29. Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени.— М.: Прогресс, 1969.— С. 160.
30. Карнап Р. Философские основания физики.— М.: Прогресс, 1971.
31. Суворов С. Г.— УФН, 1965, т. 86, вып. 3.
32. Poincaré H. La Valeur de la Science — Paris: 1905.—P. 7, 9.— (Ссылка В. И. Ленина в³³).— Перевод: Пуанкаре А. Ценность науки /Пер. с франц. под ред. А. Бачинского и Н. Соловьева.— М.: Творческая мысль, 1906.— С. 7—10.
33. Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 18, с. 170.
34. Де Бройль Л. По тропам науки.— М.: ИЛ, 1962.— С. 307.
35. Пуанкаре А. Последние мысли/Пер. под ред. А. П. Афанасьева.— Пг.: Научное книгоизд-во, 1923.— С. 31; также в кн. Новые идеи в математике: Сб. 2.— СПб.: Образование, 1913.— С. 90.— (Оригинал опубликован после кончины Пуанкаре).
36. Мах Э. Механика; Историко-критический очерк ее развития.— СПб.: 1909.
37. Кадомцев Б. Б., Келдыш Л. В., Кобзарев И. Ю., Сагдеев Р. З.— УФН, 1972, т. 106, с. 660.
38. Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики.— М.: Физматгиз, 1968.— гл. V.
39. Thigging W.— Ann. Phys., 1961, v. 16, p. 69. Огиевецкий В. И., Полубаринов И. В.— ДАН СССР, 1966, т. 166, с. 585. Петров А. З.— Ibid., 1970, т. 190, с. 305.
40. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Теория тяготения и эволюция звезд.—М.: Наука, 1971
41. Иоффе А. Ф. Альберт Эйнштейн (К 5-летию со дня смерти).— УФН, 1960, т. 71, вып. 3.
42. Визгин В. П., Смородинский Я. А. От принципа эквивалентности к уравнениям тяготения.— УФН, 1979, т. 128, с. 393 (в данном номере).
43. Пуанкаре А. Наука и метод.— СПб.: 1910.— С. 26.