

древа. Но с теорией множеств так нельзя было поступить, потому что она стала основанием практически всей математики. Ее понятия и методы широко использовались в самых различных областях математики, многие из разделов которой пере-страивались на теоретико-множественной основе. Теория множеств превратилась в своего рода фундамент математики. Обнаружение парадоксов показало, что фундамент самого этого фундамента является весьма непрочным. Академик А. Д. Александров так характеризует создавшуюся тогда ситуацию: «Теоретико-множественная установка оказалась подорванной, и вместе с нею оказалось подорванным все стройное здание математики. В верхних его этажах шло энергичное строительство: кирпичики теорем, соединяемые цементом логики, укладывались в рамки уже определившихся разделов и воздвигались каркасы новых теорий, но в теоретико-множественном фундаменте обнаружились расширяющиеся трещины парадоксов и под ними зыбучие пески и топи логических трудностей»<sup>1)</sup>).

Самые основы математики и логики оказались пораженными неразрешимыми противоречиями. Произошло крушение, казалось бы, незыблемых понятий и представлений. Налицо был кризис оснований математики. И даже не сами парадоксы говорят об этом кризисе. Гораздо более убедительно о кризисе свидетельствует тот факт, что попытки преодолеть антиномии выявили далеко идущие и неожиданные расхождения мнений по поводу самых основных математических понятий.

Этот кризис резко обострил борьбу между такими течениями как логицизм, интуиционизм и формализм. Выступления Пуанкаре против логицизма и допустимости актуальной бесконечности, разработка им учения о математической интуиции были одним из источников возникновения интуиционизма как одного из направлений в обосновании математики. Для сторонников интуиционизма характерно отвержение абстракции актуальной бесконечности и «чистых» теорем существования, а также неприятие неограниченного применения закона исключенного третьего. Интуиционисты рассматривают математические объекты как конструктивные. Большое внимание уделяется анализу роли интуиции в математическом познании.

Позиция Пуанкаре может рассматриваться как весьма близкая к интуиционизму. Близость идей Пуанкаре и основоположника интуиционизма Брауэра многие исследователи отражают даже в названиях взглядов Пуанкаре. Френкель и Бар-Хиллел определяют его позицию как ранний интуиционизм, Бет — как полуинтуиционизм. Сам Брауэр охарактеризовал Пуанкаре как одного из руководителей пред-интуиционистской школы<sup>2)</sup>).

\* \* \*

В книгах, посвященных общим вопросам науки, Пуанкаре уделил большое внимание проблемам теоретической физики того

<sup>1)</sup> Александров А. Д. Математика и диалектика. Сиб. мат. ж. — 1970. — Т. 11, № 2. — С. 247.

<sup>2)</sup> Brouwer L. E. J. Historical Background, Principles and Methods of Intuitionism//South African J. Sci. — 1952. — V. 49, № 3—4. — P. 140.

времени, оказавшейся неспособной дать объяснение целому ряду новых экспериментальных фактов. Особый интерес представляют те главы, в которые были включены его официальные доклады на международных конгрессах. Так, в книге «Наука и гипотеза» излагается доклад Пуанкаре на Международном физическом конгрессе 1900 года, в котором дается глубокий анализ назначения теоретической физики и той роли, которую играют в науке различные по своей сущности гипотезы. Эти общие вопросы теории познания и сейчас сохраняют свое актуальное значение.

Физический конгресс 1900 года, проходивший в дни Всемирной парижской выставки, был первым международным форумом физиков. Откликнувшись на призыв французского Физического общества, в Париж съехались почти все знаменитости этой науки. Рабочие заседания конгресса начались с доклада Пуанкаре. «Опыт — единственный источник истины: только опыт может научить нас чему-либо новому, только он может вооружить нас достоверностью», — провозглашает Пуанкаре (с. 116). Но уже в следующей фразе он ставит вопрос: если опыт есть все, то где же место теоретической физики? И автор последовательно и обстоятельно развивает свои взгляды на эту проблему.

«...Всякое обобщение до известной степени предполагает веру в единство и простоту природы. Допущение единства не представляет затруднений» (с. 120). Но вот тезис — «природа любит простоту» — постоянно оспаривается и подвергается сомнению. Между тем, по твердому убеждению Пуанкаре, «те, которые не верят, что законы природы должны быть просты, все же часто бывают вынуждены поступать так, как если бы они разделяли эту веру. Они не могли бы совершенно отрешиться от этой необходимости, не разрушая тем самым всякой возможности обобщения, а следовательно, и науки» (с. 120). Ведь если не руководствоваться критерием простоты, то невозможно выбрать какое-либо теоретическое обобщение из бесчисленного множества различных вполне осуществимых обобщений.

«Изучая историю науки, — отмечает Пуанкаре, — мы замечаем два явления, которые можно назвать взаимно противоположными: то за кажущейся сложностью скрывается простота, то, напротив, видимая простота на самом деле таит в себе чрезвычайную сложность» (с. 121). Но независимо от того, какая из этих ситуаций реализуется на самом деле, в науке, по мнению докладчика, в любом случае, следует предпочесть сначала простейшее обобщение. В дальнейшем более точные и совершенные опыты либо подтвердят истинность этой простоты, либо вынудят ученых пойти на усложнение и выбрать другое, более истинное обобщение. Иначе говоря, докладчик утверждает, что во всех случаях надо исходить из гипотезы простоты природы. Этот принцип построения физических теорий, который впоследствии стали называть «принципом простоты», особенно важно было уяснить в период глубокого кризиса физики, когда перед учеными встала проблема обобщения совершенно новых экспериментальных фактов и построения новых физических теорий.

Вслед за этим Пуанкаре рассмотрел различные типы гипотез, используемых в физике. Говоря о физических гипотезах, допускающих непосредственно экспериментальную проверку, он особо подчеркнул принципиальную важность того случая, когда

гипотеза ученого оказывается опровергнутой опытом. «...Физик, который пришел к отказу от одной из своих гипотез, должен был бы радоваться, потому что тем самым он нашел неожиданную возможность открытия, — говорит Пуанкаре. — Я предполагаю, что его гипотеза не была выдвинута необдуманно, что она принимала в расчет все известные факторы, могущие помочь раскрыть явление! Если она не оправдывается, то это свидетельствует о чем-то неожиданном, необыкновенном; это значит, что предстоит найти нечто неизвестное, новое» (с. 124).

К особо опасным гипотезам Пуанкаре отнес те из них, которые принимаются неосознанно и незамеченными проникают в систему научных знаний.

Некоторые гипотезы докладчик назвал безразличными. Они никак не влияют на результат теоретического предсказания, а привлекаются либо из-за слабости человеческого разума, испытывающего затруднения в толковании некоторых явлений без вспомогательных представлений, либо для того, чтобы облегчить математическое решение задачи. «Этого рода безразличные гипотезы никогда не представляют опасности, лишь бы только природа их была ясно понимаема. Они могут быть полезными то в качестве вычислительного приема, то как некоторая конкретная опора для нашей мыслительной способности. Поэтому нет оснований их осуждать» (с. 126). К таким гипотезам Пуанкаре причислил предположение о непрерывности материи или противоположную ему гипотезу об атомарном ее строении, а также все предположения о физических свойствах «тонких субстанций, которые под именем эфира или под каким-либо другим именем во все времена играли столь значительную роль в физических теориях» (с. 136). Эфир, наделяемый механическими свойствами, он уподобляет некогда принятому в науке «теплороду» и ставит под сомнение его истинное существование. «Гипотезам этого рода свойствен лишь метафорический смысл... — утверждает Пуанкаре. — Они могут быть полезны, как средство достигнуть умственного удовлетворения» (с. 133).

Такой подход к проблеме эфира был в то время далеко не общепринятым. Например, в докладе знаменитого лорда Кельвина, сделанном на том же пленарном заседании, проповедывались прямо противоположные взгляды.

И, конечно же, Пуанкаре не мог обойти молчанием все удивительные открытия последних лет — открытия лучей Рентгена, лучей, испускаемых ураном и радием. «Тут целый мир, о существовании которого никто и не догадывался. Всех этих неожиданных гостей надо определить к месту! Никто не может еще предвидеть, какое именно место они займут. Но я думаю, что они не разрушат общего единства, а скорее дополнят его собою», — уверенно заключает он (с. 145).

В этом обзорном докладе крупнейший теоретик и глубокий мыслитель поднимал важнейшие для того времени проблемы научного познания, в общих чертах намечая пути решения труднейших физических проблем. И это не были советы приверженца старых концепций, Пуанкаре в самом широком смысле рассматривал теоретическое обобщение опытных данных, не связывая его с механическим представлением. От будущих теорий он требовал лишь выполнения основных физических принципов, в которых усматривал самое общее проявление единства природы



и которым посвятил основную часть своего доклада на одном из следующих международных конгрессов.

В книгу «Ценность науки» Пуанкаре включил свое выступление в сентябре 1904 года на Международном конгрессе искусства и науки, проходившем в городе Сент-Луисе (США). Он выступил тогда с программным докладом «Настоящее и будущее математической физики». Доклад этот замечателен не только глубоким анализом состояния физики накануне крупнейшего преобразования ее теоретических основ, но и необычайно точными предсказаниями предстоящих изменений физических законов.

Можно без преувеличения сказать, что этот обзор всех основных трудностей классической физики был не только первым, но и единственным в течение многих последующих лет. И раньше высказывались отдельные сомнения и слышались призывы искать новые пути преодоления встретившихся трудностей, но не было общей оценки сложившейся ситуации в физике, как кризисной. Только в этом докладе Пуанкаре впервые было подытожено состояние физики в целом и твердо заявлено: «есть признаки серьезного кризиса». После этого многие будут говорить о кризисе физики конца XIX — начала XX века. А не так давно авторитетнейший ученый того времени — лорд Кельвин — в одной из своих лекций благодушно сравнил физику с кораблем, благополучно миновавшим подводные рифы и мели и вошедшим в спокойную гавань. Лишь два небольших облачка, по его мнению, омрачали пока небосвод науки — это затруднения в теории излучения и в электродинамике движущихся тел. Но, как выяснилось впоследствии, именно эти два облачка явились теми грозными тучами, которые нависли над основами классической физики.

«Имеются признаки серьезного кризиса, и нам как будто следует ждать близких перемен», — утверждает Пуанкаре (с. 300). При этом под сомнение ставится основа основ всей физики — ее принципы. К таким основополагающим принципам Пуанкаре относит: принцип сохранения энергии, принцип Карно, играющий роль второго начала термодинамики, принцип равенства действия противодействию, принцип относительности и принцип сохранения массы. К ним он добавляет еще принцип наименьшего действия. В этих принципах сконцентрирована вся накопленная веками мудрость физики как науки. «Приложение этих пяти или шести общих принципов к различным физическим явлениям является достаточным средством узнать то, на познание чего мы можем разумно рассчитывать» (с. 304). В чем сила достоверности этих принципов? В их общности, утверждает Пуанкаре. «Действительно, чем они более общи, тем чаще представляется случай проверять и контролировать их, и результаты проверок, накопляясь, принимая самые разнообразные, самые неожиданные формы, в конце концов уже не оставляют места сомнению» (с. 305). И вот над этими-то принципами нависла в последние годы угроза ниспровержения, причем над каждым из них в отдельности. Не только закон сохранения энергии подвергается сомнению; рассмотрев принципы физики один за другим, можно увидеть, что все они находятся в опасности. И далее Пуанкаре переходит к такому подробному рассмотрению.

До предела сгустив краски при описании тревожного состояния физики, Пуанкаре выразил уверенность в том, «что этот кризис будет благотворным, ибо история прошлого, по-видимому, дает в этом гарантию» (с. 301). При этом он вовсе не считает, что тревога была напрасной и классическая физика останется невредимой. Нет, он предсказывает самые неожиданные изменения законов физики и говорит о том, что принципы могут быть сохранены ценою огромных усилий, уже принятых и только еще предстоящих. Докладчик признает необходимость коренной перестройки многих существующих теорий для преодоления встретившихся трудностей, за исключением созданной Лоренцем электродинамики движущихся тел. Но эта ломка, по его убеждению, не должна отвергнуть основные принципы физики. Он допускает лишь возможность изменения их формы. Пуанкаре говорит о том, что оставшиеся среди руин старой физики общие принципы предстоит отыскивать в новом одеянии.

Теперь, когда давно отшумела буря над физикой и на ее могучем острове возникли стройные здания современных теорий, нелегко представить себе то смутное время сомнений в самых основных физических принципах. Нужно забыть на минуту о всех возникших позже новых представлениях физики XX века, чтобы по достоинству оценить значение программного доклада Пуанкаре, в котором он дал ключевую основу для поиска новых физических закономерностей — совокупность основных принципов, сохраняющих свое значение и в новой физике. Особенно подчеркивал Пуанкаре незыблемость закона сохранения энергии, который, по его мнению, не смогут поколебать никакие будущие открытия. Это убеждение высказывалось им и раньше, на Первом физическом конгрессе в Париже.

В науке после этого произошла самая крупная революция за все время ее существования. Коренному преобразованию подверглись основные физические представления. Были установлены совершенно необычные физические законы, действующие при околосветовых скоростях и в мире мельчайших частиц. Но все отмеченные Пуанкаре общие принципы и по сей день сохраняют свое значение, действуя в современной физике в преобразованном виде<sup>1)</sup>. Пуанкаре весьма проницательно наметил стержневую линию новой физики, ее остов из основных принципов, связывающих ее с классической физикой.

Вопреки своему намерению не делать прогнозы, из опасения допустить нелепость с точки зрения будущих поколений физиков, Пуанкаре дал в докладе удивительно меткие указания «горячих точек» физики, в которых следовало ожидать рождения принципиально новых закономерностей. И оправдались не просто многие из этих прорицаний, а буквально все. Современные ученые не находят ни одной нелепости в его смелых суждениях. История науки не знает другого такого труда, в кото-

---

<sup>1)</sup> Так, в современной релятивистской механике изменилось выражение энергии через скорость движения, а принцип сохранения масс тел стал относиться к полным массам с учетом их возрастания при увеличении скорости. При этом принцип сохранения масс слился с преобразованным принципом сохранения энергии.

ром с такой полнотой и с такой конкретностью были бы предсказаны грядущие преобразования в физике. Причем в своих предсказаниях Пуанкаре сохранял свойственную ему конкретность суждений, смягчая смелость детального прогнозирования предположительной формой своих высказываний.

Заключая доклад осторожным заявлением: «мы не в состоянии предвидеть, в каком направлении пойдет дальнейшее развитие», Пуанкаре тут же проявляет гениальную прозорливость: «Тогда физический закон получил бы совершенно новый вид: он не был бы уже только дифференциальным уравнением, но приобрел бы характер статистического закона» (с. 324). Столь же определенно предсказывал Пуанкаре и неизбежность открытия новых законов движения электронов в атомах, объясняющих загадочное распределение линий излучения в спектрах. «Эти явления еще не объяснены, — говорит он, — и я думаю, что здесь перед нами одна из наиболее важных тайн природы» (с. 322).

По поводу невозможности обнаружения абсолютного движения Пуанкаре высказал в конце доклада предположение: «Возможно также, что нам придется создать совершенно новую механику, которую мы сейчас лишь смутно предугадываем». Но это «смутное предугадывание» он характеризует весьма четким определением сущности будущей релятивистской теории: «В этой механике инерция возрастала бы вместе со скоростью, и скорость света являлась бы непреодолимым пределом» (с. 324).

В осуществлении своего пророчества Пуанкаре сам сыграл выдающуюся роль. Тема относительности движения неслучайно занимает важное место во всех четырех книгах. На протяжении многих лет он постоянно обращается к обсуждению этой проблемы, оказывая плодотворное влияние на других ученых, занятых ее решением. А в 1905 году Пуанкаре завершает наиболее полное и строгое в математическом отношении построение новой физической теории, получившей затем название теории относительности. С созданием этой теории был успешно преодолен один из самых тяжелых кризисов классической физики, связанный с крушением надежд на обнаружение движения тел относительно эфира.

Начиная с Ньютона, ученые XVIII и XIX веков мысленно заполняли все мировое пространство некоторой универсальной средой — эфиром, пронизывающим даже сплошные тела. Этот единый материальный носитель обуславливал все известные тогда явления физического мира, но сам был ненаблюдаемой субстанцией. В течение полутора столетий эфир так и оставался вне досягаемости физического эксперимента, а следовательно — за пределами научного знания. После того, как физикам стала ясна фундаментальность электромагнитных явлений, их несводимость к механическим явлениям, они отказались от безуспешных поисков проявлений механических свойств эфира. Он стал выступать материальным носителем свойств непосредственно самого электромагнитного поля. Но и в этом новом обличье эфир продолжал оставаться особой идеальной средой, невидимой и невесомой, недоступной опытному познанию. Только в последней четверти XIX века появилась, наконец, надежда окончательного решения этой проблемы, когда физики стали проводить на самом высоком уровне оптические и электромагнитные опыты,



с помощью которых надеялись обнаружить движение Земли относительно неподвижного мирового эфира.

Одним из решающих экспериментов был знаменитый опыт Майкельсона — Морли. Достигнутая в нем точность измерений обеспечивала возможность обнаружения эффектов, обусловленных «эфирным ветром» при движении Земли вокруг Солнца. Но вопреки ожиданиям опыт дал отрицательный результат, что поставило физику перед совершенно непреодолимыми, казалось бы, затруднениями. Распутать возникший клубок противоречий в большой степени помогло активное участие Пуанкаре в обсуждении всей проблемы. Его склонность к критическому анализу и способность находить правильные решения в самых запутанных обстоятельствах позволили ему раньше других ученых прийти к важным выводам и выдвинуть новые положения, которые легли в основу будущей теории относительности.

В серии статей, опубликованных в 1895 году<sup>1)</sup>, он приходит к важному заключению о том, что принцип относительности строго выполняется для оптических и электромагнитных явлений. В докладе на Физическом конгрессе 1900 года Пуанкаре еще подробнее излагает свое критическое отношение к надеждам некоторых ученых обнаружить абсолютное движение Земли в более точных оптических и электрических опытах и говорит о необходимости экспериментального ответа на поставленный им прямой вопрос: «Что касается нашего эфира, то существует ли он в действительности?» Он считает необходимым допустить существование эфира лишь в том случае, если эксперимент покажет, что световые и электрические явления видоизменяются вследствие движения Земли. Наступит ли это когда-нибудь? На этот вопрос Пуанкаре склонен ответить отрицательно: «Я, вопреки Лоренцу, не думаю, чтобы когда-нибудь более точные наблюдения могли обнаружить нечто иное кроме относительных перемещений материальных тел» (см с 139).

Пуанкаре неоднократно обращал внимание на недостаточность придуманного Лоренцем объяснения результата, полученного Майкельсоном и Морли. Вместе с тем он считает, что теория Лоренца является «наиболее удовлетворительной из всего, что мы имеем ; она, бесспорно, лучше всех истолковывает известные нам факты, освещает больше реальных отношений, чем любая другая, и свойственные ей черты войдут в наибольшем числе в будущее окончательное построение» (с 141). Эта ориентация, с одной стороны, на теорию Лоренца, в которой скорость света принималась не зависящей от движения его источника, а с другой стороны, на строгое выполнение принципа относительности, указывала тот единственно верный путь, который вел к созданию теории относительности. Однако, намеченное Пуанкаре объединение теории Лоренца и принципа относительности упиралось в противоречие, которое в силу ограниченности существовавших тогда основных научных представлений казалось непреодолимым. Поскольку скорость света в эфире была постоянной и не зависела от движения источника света, то в перемещающейся относительно эфира материальной системе свет должен был распространяться с различной скоростью в

---

<sup>1)</sup> Выдержки из этих статей опубликованы на русском языке в кн. Принцип относительности. — М.: Атомиздат, 1973.

разных направлениях. Это явно расходилось с утверждением принципа относительности. Чтобы привести в соответствие эти два положения, необходимо было коренным образом изменить представление о пространстве и времени.

Первый решающий шаг в этом направлении был сделан Пуанкаре, который показал несостоятельность представлений об абсолютном времени и абсолютной одновременности для разноместных событий, опираясь на вполне конкретный экспериментальный факт — конечность скорости передачи самого быстрого материального сигнала, скорости света.

В 1898 году один из выпусков широко известного тогда французского научного журнала открылся статьей Пуанкаре «Измерение времени». На протяжении почти тринадцати страниц автор основательно анализирует такие простые, казалось бы, понятия, как равенство двух промежутков времени и соответствие между собой моментов времени в разных точках пространства. Его рассуждения показывают, что понятие времени казалось до сих пор очень простым только потому, что о нем серьезно не задумывались. Принимая абсолютное время, классическая физика, оказывается, делала ряд неявных допущений, с которыми следовало бы расстаться после того, как убедились в конечном значении скорости света. Даже определение скорости движения основывалось на представлении о равномерном и одинаково идущем во всех точках пространства времени. Задание величины скорости подразумевает отсчет времени хотя бы в двух пространственно разделенных точках. Но полученный таким способом временной интервал имеет смысл только в том случае, когда решен вопрос о приведении в соответствие времен в разных точках пространства. Для этого недостаточно установить одинаковость хода времени в этих точках, необходимо также согласовать начало его отсчета или, как принято говорить, установить одновременность.

Как же установить эти характеристики времени в реальной действительности, если самый быстрый процесс — это распространение света, скорость которого тоже конечна? Этот вопрос Пуанкаре подвергает детальному анализу, рассматривая те измерительные процедуры, с помощью которых понятию времени придается физический смысл. Полученный им ответ казался его современникам весьма неожиданным и одиозным. Абсолютного времени и абсолютной одновременности в природе не существует. Лишь на основе условного соглашения, конвенции, можно считать равными длительности двух промежутков времени и одновременными два явления, происшедшие в разных точках пространства.

Это было совершенно новое, «неклассическое» понимание времени и одновременности. Введенное в науку на самом закате прошлого века, знание это принадлежало уже надвигающемуся столетию и сыграло в нем первостепенную роль. Только во второй половине нашего столетия и то после долгих лет сомнений и недопонимания получило должную оценку и другое положение, сформулированное Пуанкаре в статье 1898 года. Рассматривая взятое в качестве примера утверждение астронома о том, что «звездное явление, которое он видит в настоящее время, произошло 50 лет назад», автор вскрывает в нем неявное допущение о постоянстве скорости распространения



света во всех направлениях. Принципиально невозможно измерить скорость распространения света в одном каком-нибудь направлении. Измерению подлежит лишь усредненная скорость прохождения светом некоторой протяженности в двух противоположных направлениях. Поэтому предположение о равенстве двух противоположных по направлению скоростей света является только условным соглашением. Это обстоятельство и сейчас еще нередко упускают из вида при обсуждении возможностей экспериментальной проверки отдельных положений теории относительности, что лишней раз характеризует всю глубину анализа, проведенного Пуанкаре в конце прошлого века.

В первой своей книге Пуанкаре ограничился лишь тезисами, отрицающими существование абсолютного времени и абсолютной одновременности, ссылаясь на работу «Измерение времени», где эта проблема подробно им рассмотрена. В следующей книге «Ценность науки» он счел необходимым привести целиком свою статью 1898 года. К сожалению, в этих книгах не отражен следующий этап его творчества: непосредственное участие Пуанкаре в создании теории относительности на основе выдвинутых им ранее исходных положений. Между тем, не оценив подлинный вклад французского ученого в создание этой теории, трудно понять и интерпретировать некоторые особенности его более поздних выступлений по теории относительности, включенных в настоящее издание (статьи «Пространство и время» и «Новая механика» в книге «Последние мысли»). Поскольку этот вопрос недостаточно освещен в научно-исторической и научно-популярной литературе, то мы решили уделить ему внимание в этой статье.

В самом конце XIX века были уже найдены новые преобразования пространственно-временных координат, составляющие основу будущей физической теории. Были получены также самые необычные следствия этой теории о сокращении длин отрезков и расширении временных интервалов. В работах Г. А. Лоренца и английского физика Дж. Л. Лармора контуры новой теории, приводящей к революционному преобразованию всей физики, проступали весьма отчетливо. Но ограниченное применение в этих работах новых пространственно-временных преобразований лишь для уравнений электродинамики на самом деле не обеспечивало всеобщности принципа относительности. Например, инвариантными относительно новых преобразований оставались законы механики. Поэтому-то в своем докладе на конгрессе в Сент-Луисе Пуанкаре специально подчеркивал, что может потребоваться совершенно новая механика быстрых движений. В этом состояло глубокое понимание французским ученым того факта, что проблема электродинамики движущихся тел затрагивает общие свойства физических процессов и требует пересмотра основ другой науки — механики.

Однако, необходимый шаг в этом направлении уже был сделан Лоренцем в апреле 1904 года, когда он предложил найденный им для электронов закон неограниченного возрастания массы при приближении их скорости к скорости света распространить на любые механические объекты. Аналогичное обобщение предлагалось для преобразования сил из одной системы координат в другую. Правда, идеи эти не были развиты до общих уравнений новой механики и даже высказаны они были

как бы мимоходом. Но у Пуанкаре нет и тени сомнения в том, что статья Лоренца представляет собой смелое посягательство на незыблемые основы классической механики. Он усмотрел в ней четкую формулировку новых начал необычной механики сверхвысоких скоростей, и тут же подключился к дальнейшей разработке новой теории. Найдя конкретное указание на необходимое изменение механики, Пуанкаре смог теперь соединить в единую стройную систему разрозненный и непоследовательно изложенный материал последней статьи Лоренца. В приведении механики в соответствие с теорией движения электронов он увидел окончательное доказательство невозможности наблюдения абсолютного движения. В этом понимании сути содержащегося в работе Лоренца полного решения проблемы электродинамики движущихся тел Пуанкаре далеко превзошел и самого автора, и всех других физиков того времени.

Как и обычно, первое сообщение о проведенном исследовании Пуанкаре сделал перед своими коллегами по Академии. Оно было опубликовано в «Comptes Rendus» от 5 июня 1905 года под названием «О динамике электрона». Прежде всего в статье отмечалось, что последняя работа Лоренца решила проблему невозможности обнаружить движение по отношению к эфиру. Собственные же результаты были охарактеризованы автором в весьма скромных тонах, как некоторое дополнение и видоизменение исследований Лоренца.

Чрезмерная сдержанность и умеренность в оценке плодов своего труда всегда были свойственны Пуанкаре, начиная с первых его работ по фуксовым функциям. В этом же случае они оборачивались явной недооценкой собственного вклада в развитие новой физической теории. Между тем, даже из предварительного краткого изложения итогов его работы, помещенного в «Comptes Rendus», можно было понять, что речь идет о совершенно новых, принципиально важных результатах. К ним относился вывод о том, что преобразования, связывающие пространственно-временные координаты двух систем отсчета, должны образовывать математическую группу, и что полученное Лоренцем преобразование удовлетворяет этому обязательному условию. К фундаментальным результатам относилась также впервые высказанная идея о необходимости привести теорию тяготения в соответствие с преобразованиями Лоренца. Примерно через полтора месяца в печать была направлена обширная статья под тем же названием «О динамике электрона», содержащая подробное изложение всех полученных Пуанкаре результатов.

Выведенные в этой работе соотношения для преобразования из одной системы координат в другую электрического заряда и тока позволили автору доказать в самом общем случае, что уравнения электромагнитного поля не изменяются при полученных ранее пространственно-временных преобразованиях, которые он предложил назвать «преобразованиями Лоренца». Неизменность, инвариантность уравнений электродинамики относительно этих преобразований становится в работе Пуанкаре прямым следствием принципа относительности. И это новое понимание выступает у него единым подходом ко всем областям физических явлений. Требование инвариантности всех законов физики относительно преобразований Лоренца являлось новой,

более строгой в математическом отношении формулировкой универсального принципа относительности

Но наиболее кардинальным выглядело изменение законов тяготения, которое Пуанкаре представлял естественным следствием принятого во всей общности постулата относительности, как полного отрицания всякой возможности наблюдать эфир. Перестройка теории тяготения в соответствии с принципом относительности имела особое значение как начало становления новой, так называемой релятивистской теории гравитации.

Именно в изложении французского ученого новая физическая теория обрела строгую математическую форму. Он первым ввел в нее четырехмерное представление, добавив к трем пространственным координатам четвертую — собственное время системы отсчета, умноженное на скорость света и мнимую единицу. Каждая точка в такой необычной геометрии изображала мгновенное событие, происходящее в определенном пункте пространства и в определенный момент времени. Этот формализм четырехмерной геометрии позволил Пуанкаре установить абсолютные величины новой теории, которым соответствовали инвариантные соотношения, остающиеся неизменными при всех преобразованиях из одной системы отсчета в другую. Наглядный геометрический смысл был установлен, например, для одного из важнейших инвариантов теории, который изображался четырехмерным интервалом, т. е. расстоянием в четырехмерном мире между двумя его точками. Эта величина оказалась независимой от выбора системы координат. Сами же преобразования Лоренца удобно представлялись простым поворотом осей координат в четырехмерном пространстве. Позднее в работе Пуанкаре были обнаружены также и релятивистские уравнения аналитической механики.

Статья Лоренца, дав толчок для дальнейших теоретических исследований, не оказала сколько-нибудь существенного влияния на последующий процесс утверждения и признания новой теории. Иначе и быть не могло, поскольку сам автор активно не признавал новаторское начало в своих исследованиях. Но и работе Пуанкаре не удалось решить эту проблему. Слишком краткими были объяснения, содержащиеся в обеих его публикациях. Верный своему стилю написания научных работ Пуанкаре не повторял прежних своих разъяснений смысла «местного» времени и одновременности, их связи с постулатом о постоянстве скорости света. Между его теоретическим исследованием и работой Лоренца образовался трудный для понимания пробел. Это обстоятельство, а также публикация его подробной статьи в математическом журнале, мало читаемом физиками, в значительной мере объясняют, почему фундаментальное исследование Пуанкаре не оказало заметного влияния на взгляды широких кругов ученых в период осознания уже сложившейся теории относительности. Но эти причины не могли, конечно, помешать отдельным исследователям воспринять содержащиеся в работе Пуанкаре совершенно новые идеи. И мы действительно находим в трудах других ученых использование и дальнейшее развитие его идеи о преобразовании теории тяготения Ньютона с целью приведения ее в соответствие с принципом относительности, а также идеи четырехмерного представления теории относительности.



Для признания новой теории решающую роль сыграла работа неизвестного тогда в научных кругах автора. В 1905 году, в сентябрьском номере немецкого журнала «Анналы физики» появилась статья, написанная молодым экспертом швейцарского патентного бюро в Берне Альбертом Эйнштейном. В статье излагалась теория относительности, решавшая проблему электродинамики движущихся тел

Статья Эйнштейна поступила в редакцию журнала 30 июня 1905 года, то есть уже после того, как было опубликовано в «Comptes Rendus» краткое сообщение Пуанкаре, но опережала его более подробную статью, полученную редакцией итальянского журнала 23 июля того же года и вышедшую в свет в январе 1906 года. Изложение велось молодым автором в довольно необычной для научных публикаций манере, без указания идей и результатов, заимствованных из других исследований, без сопоставления полученных выводов с итогами более ранних попыток решения той же проблемы. Статья не содержала буквально ни одной литературной ссылки. При чтении ее создавалось впечатление о полной оригинальности как постановки, так и решения задачи, о первооткрытии всех изложенных там результатов. Только путем сопоставления фактически использованных в этой работе положений с ранее опубликованными статьями на данную тему можно установить несомненную связь развиваемых автором идей с высказываниями предшественников, и в первую очередь — с идеями, опубликованными за несколько лет до этого Пуанкаре. По этой причине мы несколько задержимся на рассмотрении знаменитой работы Эйнштейна 1905 года.

Что касается постановки задачи о теории, удовлетворяющей принципу относительности, то она, конечно же, совпадала во всех трех работах разных авторов: Лоренца, Пуанкаре и Эйнштейна. Разница состояла лишь в том, что Лоренц указывает источник такой постановки — одно из ранних выступлений Пуанкаре по этому вопросу, а Эйнштейн дает обоснование принципа относительности без всякой ссылки на первоисточник. Всего несколько слов сказал он об экспериментальном обосновании этого принципа, не обсуждая конкретных опытов и даже не упоминая решающий эксперимент Майкельсона — Морли. Эта краткость вполне естественна, если признать, что он считал принцип относительности уже всесторонне обсужденным в научной литературе. И действительно, у этой фундаментальной идеи был вполне конкретный автор — Анри Пуанкаре. Ему пришлось неоднократно высказывать и с энтузиазмом отстаивать ее, поскольку она противоречила глубоко укоренившимся убеждениям о существовании светоносного эфира. Удивительная проницательность Эйнштейна как раз в том и состояла, что он одним из немногих воспринял и осознал значение этой идеи. Заслуга Эйнштейна состояла также и в том, что он использовал идею принципа относительности в качестве исходного положения своей теоретической системы, то есть так, как и предлагал Пуанкаре. В этом состояло отличие его подхода от подхода Лоренца.

Для построения теории Эйнштейну понадобился еще один исходный постулат: о независимости скорости света от движения источника. Эта необходимая предпосылка никак им не

обосновывалась. Появление ее в исследовании Эйнштейна не легко объяснить, поскольку ничего еще не было известно об экспериментальном наблюдении такого факта, и, следовательно, опытом она не могла быть подсказана. В электродинамике Лоренца и Лармора, а следовательно, и в теоретических построениях Пуанкаре, внимательно следившего за их работами, это положение вытекало как естественное следствие из концепции неподвижного эфира. Но Эйнштейн с самого начала отказался от всякого использования этого понятия. Поэтому появление в его работе без всякой мотивировки постулата о независимости скорости света от движения источника, находившегося, к тому же, в кажущемся противоречии с первым исходным принципом его теории, было явно непоследовательным шагом. Происхождение этого постулата у Эйнштейна можно было бы объяснить анализом предшествующих работ по электродинамике движущихся тел. Но в его статье нет никаких указаний на этот счет. Только позднее Эйнштейн признался в том, что принцип постоянства скорости света был подсказан ему теориями, основывающимися на гипотезе неподвижного эфира. Так, в работе 1912 года он писал: «Чтобы заполнить этот пробел, мы ввели позаимствованный из лоренцевской теории покоящегося эфира принцип постоянства скорости света..»<sup>1)</sup>

Отличительной особенностью работы Эйнштейна была четкая постановка вопроса о решении проблемы электродинамики движущихся тел за счет пересмотра понятий, связанных с пространственно-временными соотношениями. Центральное место в его статье отводилось определению одновременности разноместных событий. Отмечалось, что физическое описание движения подразумевает всегда использование времени в различных точках пространства, а это возможно только в том случае, если установлено временное соответствие между событиями в этих точках и выяснено, какие из этих событий являются одновременными. Затем автор приводит определение одновременности показаний двух часов, пользуясь мысленным экспериментом по синхронизации их с помощью светового сигнала и принимая при этом допущение о равенстве времен, затрачиваемых светом на прохождение расстояния между часами в прямом и обратном направлении.

Сама постановка вопроса об одновременности и определение этого понятия на основе постоянства скорости света — все это совпадало с объяснениями, приведенными впервые Пуанкаре еще в 1898 году в статье «Измерение времени». А мысленное оперирование вместо времени более конкретным понятием — часами, синхронизация которых производится световым сигналом, — это уже были детали, характерные исключительно для того истолкования «местного» времени Лоренца, которое было дано Пуанкаре в работе 1900 года и повторено затем на конгрессе в Сент-Луисе. Но в статье Эйнштейна изложение этих пунктов непосредственно предшествовало рассмотрению электродинамики движущегося тела, что значительно облегчало усвоение всей теории. Вот почему работа молодого ученого обратила

---

<sup>1)</sup> Эйнштейн А. Собрание научных трудов, т. 1. — М.: Наука, 1965. — С. 219.

на себя внимание и в дальнейшем способствовала усвоению идей теории относительности в большей мере, чем труды его знаменитых предшественников.

Самое существенное отличие работы Эйнштейна от предыдущих состояло в понимании того факта, что те же самые релятивистские эффекты возникают и для «покоящейся» системы, если, в свою очередь, ее сопоставить с движущейся системой. Об этом в статье была сказана всего одна фраза: «Ясно, что те же результаты получаются для тел, которые находятся в покое в «покоящейся» системе и которые рассматриваются из равномерно движущейся системы». Но именно эта фраза характеризовала другой уровень понимания открытых ранее эффектов теории относительности.

Вопрос, связанный с обратными преобразованиями, в основной работе Пуанкаре получил лишь формальное освещение. Отмеченные им групповые свойства преобразований Лоренца включали и условие обратимости всех результатов. Кроме того, при выводе самих преобразований Лоренца он непосредственно использовал сопоставление с обратным преобразованием. Однако Пуанкаре ни одним словом не пояснил, что из этого свойства группы Лоренца вытекает обратимость всех необычных свойств новых пространственно-временных соотношений. В своем теоретическом трактате он обошел этот вопрос молчанием, хотя его более ранние работы содержали все необходимые данные, чтобы прийти к такому выводу.

Дальнейшее существенное развитие теория относительности получила в работах геттингенского математика Германа Минковского. В 1907 году он выступил в Геттингене с докладом «Принцип относительности», а в следующем году опубликовал на эту тему обширный трактат. Минковский существенно дополнил результаты Лоренца и Эйнштейна, внес в физику новое понимание необходимости синтеза пространственных и временных представлений. Но его работа в значительной мере перекрывалась ранее опубликованной статьей Пуанкаре. В исследовании инвариантов новой теории работа Пуанкаре превосходила даже более поздние выступления Минковского. Последний ни в одной из своих статей не отметил выдающихся результатов Пуанкаре в развитии математического аппарата теории относительности и ни словом не упомянул предложенную им идею четырехмерного представления этой теории.

Предлагаемые вниманию читателя книги Пуанкаре включают те его работы, в которых содержатся идеи, относящиеся к первому этапу создания новой физической теории. Но именно этот первый этап, этап зарождения новых идей — исходного пункта будущего теоретического построения — имеет особое значение для научных открытий, представляющих собой неожиданные скачки и резкие повороты в развитии ученой мысли. Об этом важнейшем периоде становления теории относительности принято порой говорить как о времени, когда необходимые, не осознанные еще до конца идеи носились в воздухе, и недоставало лишь гения, который бы воспользовался ими для разработки новой физической теории. В действительности же, само появление этих идей уже представляло собой решающий шаг, потребовавший коренного пересмотра основных положений классической физики.



В этот период становления теории относительности наибольший вклад в создание ее основ внес, несомненно, Пуанкаре. Он выдвинул принцип относительности, как обобщение опытных данных, и высказал убеждение, что именно электромагнитную теорию Лоренца необходимо согласовать с этим принципом, чтобы получить окончательное решение проблемы. Пуанкаре показал условность понятия одновременности, центрального понятия теории относительности, и предложил определение этой величины на основе постулата о постоянстве скорости света. Он дал также правильную физическую интерпретацию «местного» времени Лоренца. И хотя работы известного французского ученого, содержащие эти новаторские мысли, не были осмыслены подавляющим большинством физиков, не подготовленных еще к восприятию столь радикально новых взглядов, влияние их несомненно сказалось на тех немногих исследователях, которые участвовали затем в построении теории относительности. Например, Лоренц отмечал, что разработка теории, строго удовлетворяющей принципу относительности, была предпринята им под влиянием критики его прежних работ со стороны Пуанкаре.

Хоть мы и не находим в работах Эйнштейна аналогичного признания, однако известный из его биографии факт изучения им с товарищами книги Пуанкаре «Наука и гипотеза» объясняет детальные совпадения развиваемых в его последующих статьях положений с оригинальными новаторскими установками, высказанными французским ученым. Ведь в этой книге, в главе «Классическая механика», автор выделил в виде тезисов категорические утверждения об отсутствии абсолютного пространства и абсолютного времени, а к тезису о невозможности непосредственно установить одновременность двух разноместных событий дал ссылку на свою статью 1898 года.

После 1905 года Пуанкаре больше не возвращался к развитию новой механики больших скоростей. Для его научного творчества вообще была характерна быстрая и безболезненная смена тем и интересов. Однако он неоднократно выступал в последующие годы с лекциями и статьями по поводу новой механики. Например, в апреле 1909 года его лекции слушают в Геттингене, куда он был приглашен Д. Гильбертом. Одна из этих лекций, шестая, включена в настоящее издание книги «Последние мысли».

Гёттингенская лекция Пуанкаре содержала лишь элементарное изложение особенностей новой механики и ее связи с принципом относительности. Но в упрощенную форму изложения автор облек более глубокое понимание всей проблемы по сравнению с широко распространенным тогда ее толкованием «Принцип относительности в новой механике не допускает никаких ограничений,— категорически заявил докладчик.— Он имеет, если так можно выразиться, абсолютное значение» (с. 647—648).

Пуанкаре обсуждает некоторые направления, в которых, по его мнению, будет расширяться область действия принципа относительности. Он говорит о необходимости связать новую механику с современными воззрениями на вещество, с представлениями об атоме, рассматривает также ее отношение к астрономии. Новая теория тяготения, отмечает Пуанкаре, должна учесть несостоятельность прежнего представления о постоянстве массы тел; она должна считаться и с тем, что притяжение

не мгновенно. Он предвидит, что новый закон притяжения двух тел, зависящий от их скоростей, может привести к незначительному отличию от закона Ньютона и что наибольшая разница должна обнаружиться в теории движения Меркурия, самой быстрой из всех планет. Пуанкаре указывает на необъясненную до сих пор аномалию в движении этой планеты. «Новая механика несколько исправляет ошибку в теории движения Меркурия, но не дает полного соответствия между наблюдением и вычислением», — подводит итоги докладчик (с. 653). И снова Пуанкаре даже не ссылается на свою работу 1906 года, в которой был изложен не только первый, но и единственный тогда вариант релятивистской теории притяжения.

Несовпадение теоретических результатов с астрономическими наблюдениями Пуанкаре расценивает как предостерегающий сигнал о том, что не следует торопиться с окончательным признанием справедливости новой механики. Еще более осторожен он в статье 1908 года, которая и легла в основу его гёттингенской лекции.

Заключительные слова этой статьи раскрывают истоки сомнений автора. Они были навеяны неясной тогда ситуацией с основным проверочным опытом Кауфмана по измерению отклонения электронов электрическими и магнитными полями. Столь же осмотрителен Пуанкаре в окончательной оценке новой теории и в своей берлинской лекции, с которой он выступил в марте 1910 года.

В этих двух лекциях по новой механике, обращенных к немецким научным кругам, Пуанкаре противопоставил свое мнение по ряду вопросов, связанных с новой физической теорией, тому освещению происшедшего в науке переворота, которое начало распространяться тогда в Германии.

Пуанкаре не мог не знать о попытках немецких авторов представить развитие Эйнштейном и Минковским пространственно-временного аспекта теории Лоренца, как создание новой физической теории. Но, видимо, такие притязания немецкой науки представлялись ему настолько необоснованными, что он не считал нужным делать специальные заявления по этому поводу. Французский ученый полагал, что достаточно рассказать об истинной сути происшедшего в науке переворота, чтобы развеять всякие недоразумения. А суть решения всей проблемы, по его глубокому убеждению, состояла в пересмотре Лоренцем механики с целью приведения ее в соответствие с электродинамикой и в создании нового по форме принципа относительности. Все же остальное он причислял к естественному развитию этой главной идеи и к развертыванию необычных следствий новой теории. Точно так же оценивалась им и его собственная работа.

Не признавая пространственно-временной аспект главным в решении проблемы абсолютного движения, Пуанкаре обходит полным молчанием работы Эйнштейна и Минковского. Даже в двух своих лекциях для немецких ученых он не произносит эти имена. Чтобы понять, насколько несвойственна его характеру эта позиция, достаточно вспомнить с какой предупредительностью признавал он малейшие заслуги любых авторов. В своих статьях Пуанкаре непременно упоминает всех, кто добился хоть каких-нибудь результатов в избранной им самой области исследования. Сколько ученых обязаны ему тем, что их

имена увековечены в научных названиях! Именно по его инициативе в физику и математику вошли преобразования Лоренца, числа Бетти, клейновы группы и функции, устойчивость по Пуассону. Молчание его по отношению к Эйнштейну и Минковскому, столь усиленно превозносимым в то время немецкой школой физиков в качестве единственных создателей теории относительности, не имеет прецедента. Оно выглядело вопиющим и говорило красноречивее всяких слов. Такой поступок со стороны прославленного ученого мог быть вызван только глубоко принципиальными соображениями. Пуанкаре всегда воздавал должное заслугам немецких математиков и никогда не унижался до болезненной национальной конкуренции. Причина его молчания в данном случае была совсем иной.

С редкостным великодушием раздавая признания, Пуанкаре никогда не поступал беспринципно. Он признавал первенство лишь в том случае, когда видел действительную оригинальность в трудах своих коллег. Молчание его являлось формой протеста против усиленного представления Эйнштейна и Минковского единственными создателями новой теории. С точки зрения Пуанкаре это была, по-видимому, весьма резкая форма протеста, которую он мужественно противопоставил мнению наиболее авторитетной физической школы, какой являлась тогда немецкая физическая школа.

Не в его принципах было отстаивать свой приоритет в научных вопросах. Чтобы не быть ложно понятым, Пуанкаре полностью умалчивает и о своих исследованиях по теории относительности. Но, обходя молчанием свои работы, он вольно или невольно приписывал Лоренцу свое понимание проблемы. Сам Лоренц, однако, не поддерживал те взгляды, которые так упорно отстаивал его французский коллега. Он по-прежнему верил, что именно в свойствах эфира следует искать объяснение всем особенностям физического мира, и в новой трактовке соотношений, полученных ранее им самим, он почему-то не узнавал своей же теории.

Трудно понять, что же заставило выдающегося голландского физика согласиться с явно необоснованной версией о возникновении будто бы двух различных физических теорий: квазиклассической теории, завершенной Лоренцем в 1904 году, и совершенно новой релятивистской теории пространства и времени, созданной Эйнштейном в 1905 году. Ведь ученый, обладающий столь проницательным умом и огромным опытом работы в теоретической физике, не мог не понимать, что такая постановка вопроса может быть оправдана только в том случае, если эти теории приводят к какому-либо доступному для опытной проверки различию, а без этого неременного условия речь может идти лишь о расхождениях в интерпретации соотношений и трактовке положений одной и той же физической теории. Новой теорией в физике всегда считалось такое теоретическое построение, которое предсказывает ранее неизвестные проверяемые на опыте соотношения. Между тем, статья Эйнштейна, также как и работа Пуанкаре (если не говорить о содержащемся в ней первом варианте релятивистской теории тяготения), развивала строго удовлетворяющую принципу относительности теорию, все проверяемые на опыте соотношения которой уже были получены ранее в трудах Лоренца и Лармора. В ряде публикаций



авторитетных ученых того времени, например Кауфмана, Лауэ и Эренфеста, подчеркивалось, что принципиально невозможен эксперимент, различающий теоретические построения Лоренца и Эйнштейна.

Но Лоренц оставил без внимания как эти категорические заявления, так и четкую установку Пуанкаре на признание в качестве основной теории лоренцевской, а не своих собственных теоретических исследований. Между тем, работа Пуанкаре целиком включала содержание параллельной ей работы Эйнштейна и отчасти даже результаты более поздних работ Минковского, превосходя их по полноте исследования инвариантов новой теории. Такое поведение Лоренца выглядит не простым самоотречением или полным пренебрежением к приоритетным вопросам, а скорее, весьма странным потворствованием развернувшейся тогда кампании, тенденциозно приписывавшей одному Эйнштейну результаты коллективного труда нескольких выдающихся ученых. Уступчивость Лоренца перед подобными целенаправленными усилиями может характеризовать и такой факт, как данное им разрешение использовать свое имя для сбора в международном масштабе частных денежных пожертвований в фонд Лоренца<sup>1)</sup>. Это мероприятие, не имеющее прецедента, говорит о появлении тогда в околонуучной среде весьма деловых людей, организаторским действиям которых не сумел противостоять великий ученый.

В конце 1911 года Пуанкаре был приглашен на I Сольвеевский конгресс, на котором обсуждались проблемы, связанные с квантовой гипотезой Планка. Сам факт приглашения выдающегося французского ученого на весьма узкое собрание ведущих физиков мира свидетельствует о международном признании плодотворного вмешательства Пуанкаре в проблему преодоления кризиса в физической науке. На этом конгрессе в Брюсселе состоялась встреча Пуанкаре с Эйнштейном, единственная в их жизни.

Теория относительности, к сожалению, официально не рассматривалась на Сольвеевском конгрессе, несмотря на то, что в нем помимо создателей этой теории — Лоренца, Пуанкаре и Эйнштейна — приняли участие и другие ученые, способствовавшие ее признанию и развитию: Планк, Ланжевэн, Лауэ, Зоммерфельд. Конечно, тогда уже не существовало проблемы абсолютного движения, как таковой, однако обсуждение происшедшего в физике переворота могло бы устранить многие недоразумения и в трактовке теории, и в освещении истории ее возникновения. В частных же беседах участники конгресса безусловно касались теории относительности. Об этом свидетельствует одно из писем Эйнштейна, из которого, правда, можно только заключить о самом факте его разговора с Пуанкаре и о явном несогласии Эйнштейна с позицией своего собеседника. Но это не должно вызывать особого удивления. Стоит только сравнить статьи, написанные в те годы Пуанкаре и Эйнштейном, как станет очевидной невозможность какого-либо взаимопонимания между ними по целому ряду основных вопросов теории относительности.

<sup>1)</sup> Фредерикс В. К. Гендрик Антон Лоренц//Лоренц Г. А. Старые и новые проблемы физики. — М.: Наука, 1970. — С. 245.

Общение с участниками Сольвеевского конгресса послужило, видимо, основным стимулом для нового выступления Пуанкаре в печати с уточнением своей позиции по новой теории. Речь идет о его статье «Пространство и время», включенной в книгу «Последние мысли» и являющейся изложением сделанной им в мае 1911 года лекции в Лондонском университете.

В то время в работах многих физиков уже утвердилась тенденция представлять теорию относительности прежде всего как новую физику пространства и времени, затушевывая роль новой механики сверхбыстрых движений. Преобразования Лоренца стали трактовать как истинные преобразования пространственно-временных координат. Преобразования же Галилея получили статус приближенных, неприменимых при больших, околосветовых скоростях. В беседах с Эйнштейном и другими учеными Пуанкаре мог убедиться в том, насколько популярна такая упрощенная трактовка и как уверенно ее сторонники выдвигают на первое место именно пространственно-временной аспект, подчиняя ему законы движения физических объектов. С этим не мог согласиться ученый, затративший столько усилий на выяснение конвенциональности геометрии и условности временных характеристик. И раньше он выделял новую механику, соответствующую единому принципу относительности, как первопричину всех пространственно-временных соотношений, возникающих в движущейся материальной системе. Теперь Пуанкаре счел необходимым дополнить свои прежние высказывания рядом утверждений, явно расходящихся с общепринятыми взглядами. В своей статье он говорит о перевороте в науке, как о свершившемся факте. В этом, бесспорно, сказалось влияние на него убежденных сторонников новой теории, с которыми Пуанкаре встретился на Сольвеевском конгрессе. Но в отличие от них, французский ученый по-прежнему связывает происшедший переворот только с именем Лоренца, совсем не упоминая Эйнштейна.

В этом выступлении Пуанкаре вносит одно существенное новшество: он рассматривает две гипотетически возможные формы принципа относительности. Под старой формой подразумевается галилеевский принцип относительности. Если бы этот принцип был справедлив, то все законы физики были бы инвариантны относительно преобразований Галилея. В качестве новой формы принимается принцип относительности Лоренца, означающий инвариантность всех физических законов относительно преобразований Лоренца. Для обеих форм совершенно невозможно обнаружить абсолютное движение, но лоренцевский принцип обеспечивает еще независимость скорости света от движения его источника.

Представление принципа относительности в двух различных формах позволило Пуанкаре поставить вопрос: что же непосредственно подтверждается опытом — одна из этих разновидностей принципа относительности или же соответствующее ей пространственно-временное преобразование? Пуанкаре разъясняет, что принцип относительности в отличие от постулатов геометрии пространства — времени, «уже не является больше простым условным соглашением, он доступен проверке и, значит, может быть опровергнут опытом. Он — экспериментальная истина» (с. 551). Его главная мысль как раз в том и заключается,

что новая механика отклоняет старый принцип Галилея и утверждает новую его форму — принцип Лоренца.

Обычно при объяснении переворота, произведенного теорией относительности в физике, исходят из общей формулировки принципа относительности как невозможности обнаружить абсолютное движение в любых физических опытах. При этом не учитывается допустимость различных форм реализации такого принципа. Поскольку дорелятивистская механика уже удовлетворяла галилеевскому принципу относительности, то основным достижением новой теории считалось распространение его действия на электродинамику Лоренца. Совсем иначе представляется сущность происшедшей перестройки физики, если исходить из возможности различных форм принципа относительности. Уравнения электродинамики в том виде, как они с самого начала были получены Максвеллом, уже обладали свойством инвариантности относительно новых преобразований, которые еще предстояло открыть (преобразования Лоренца). Поэтому не принцип относительности, действующий в механике, был распространен на электродинамику, а наоборот, скрыто существовавшая в электродинамике новая форма принципа относительности была распространена на механику. При таком подходе преобразования Лоренца отличаются от старых преобразований тем, что законы физики относительно них инвариантны.

В то же время Пуанкаре, как и другие авторы, обсуждает в статье релятивистские свойства пространственных отрезков и временных интервалов, проявляющиеся в сокращении длин тел и в растяжении времени. На этот раз он уже явно отмечает обратимость релятивистских эффектов. Заданное в покоящейся системе сферически симметричное тело воспринимается наблюдателем, находящимся в движущейся системе, как эллипсоидальное, говорится в статье, а одновременные в покоящейся системе события не оказываются таковыми для этого наблюдателя. Таким образом, движущийся наблюдатель отмечает те же самые эффекты, что и неподвижный наблюдатель, следящий за движущейся системой. Затем автор кратко касается четырехмерной геометрии, указывая на то, что «в этом новом представлении пространство и время не являются уже двумя совершенно различными сущностями, которые можно рассматривать отдельно друг от друга, но двумя частями одного и того же целого, столь тесно связанными, что их не легко отделить друг от друга» (с. 554).

В чем же тогда отличие трактовки Пуанкаре от общепринятой, если и в той, и в другой речь идет об одних и тех же свойствах пространства и времени? Прежде всего в источнике происхождения этих свойств. Пуанкаре считает первичным началом новую механику. Другие, наоборот, первичными считают необычные свойства масштабов и часов, получая из них релятивистскую механику, как это делали Эйнштейн и Планк. С точки зрения математического вывода конечных соотношений теории оба подхода допустимы. Существенное различие между ними проявляется лишь в логике построения теории. Но на конкретный вопрос о том, можно ли использовать преобразования Галилея при высоких скоростях движения, эти трактовки дают прямо противоположный ответ.



Объяснив успешное использование преобразований Лоренца переходом физиков к новому более удобному соглашению, Пуанкаре заключает свою статью весьма неожиданным замечанием: «Это не значит, что они были вынуждены это сделать; они считают это новое соглашение более удобным — вот и все. А те, кто не придерживается их мнения и не желает отказываться от своих старых привычек, могут с полным правом сохранить старое соглашение. Между нами говоря, я думаю, что они еще долго будут поступать таким образом» (с. 554—555)

Такое утверждение озадачило тогда многих. Большинство восприняло его как отречение от новейшей физической теории пространства и времени: величайшее достижение научной мысли Пуанкаре хочет объяснить пресловутым удобством выбора теоретического описания физических явлений. А его слова о возможности сохранить старое соглашение, то есть использовать преобразования Галилея даже при высоких скоростях движения, представлялись попросту ошибочными. Все были убеждены в том, что физический опыт непосредственно отрицает возможность непротиворечивого использования этих преобразований. Так считал Эйнштейн, который накануне брюссельской встречи с Пуанкаре в статье «Принцип относительности и его следствия» писал о едином времени галилеевских преобразований, как о произвольной гипотезе, не отвечающей действительности. Такой же точки зрения придерживались и другие физики.

На долгие годы в науке утвердилось мнение, что само развитие физики показало несостоятельность преобразований Галилея при околосветовых скоростях движения. Особому взгляду Пуанкаре на новую теорию не придали серьезного значения. Его сочли результатом ошибочного преувеличения роли конвенции в построении теории пространства и времени. Известный французский ученый Луи де Бройль, автор исходной идеи волновой механики, писал впоследствии: «...Именно эта философская склонность его ума к «номиналистическому удобству» помешала Пуанкаре понять значение идеи относительности во всей ее грандиозности!» Правда, несколькими строчками ниже де Бройль призывает к осторожному обращению с заблуждениями великих.

«Всегда полезно поразмыслить над ошибками, сделанными великими умами, — предостерегает он, — поскольку они часто имели серьезные основания для того, чтобы их сделать, и поскольку эти великие умы всегда обладают проникновенной интуицией, возможно, что их утверждения, сегодня рассматриваемые как ошибочные, завтра окажутся истинными»<sup>1)</sup>.

Это замечание французского физика оказалось на редкость проницательным. Много позднее, уже во второй половине XX века стало очевидным, что отвергнутое утверждение Пуанкаре никакой фактической ошибки не содержит. Непонимание простого смысла его слов было результатом ограниченного толкования теории относительности. Во всем смогли разобраться уже после того, как обратили внимание на его раннюю работу «Измерение времени». Именно условность одновременности, связанная с невозможностью измерить скорость света в одном направлении, позволяет одинаково строго описывать физические

<sup>1)</sup> Бройль Луи де. По тропам науки.— М.: ИЛ, 1962.— С. 307.

явления и на основе преобразований Галилея, и на основе преобразований Лоренца. Нужно лишь для каждого способа описания выбрать свое определение одновременности<sup>1)</sup>.

Анри Пуанкаре был полностью прав, когда утверждал, что никакой физической опыт не может подтвердить истинность одних преобразований и отвергнуть другие, как недопустимые. Но он остался одиноким в своих взглядах. Хоть вопросы науки и не решаются большинством голосов, в тех случаях, когда возникают разногласия в понимании научных теорий, сложившееся умонастроение большинства может долгие годы сохранять господствующее положение. В течение нескольких десятилетий научная общественность не принимала точку зрения французского ученого, изложенную в статье «Пространство и время», считая ее ошибочной. Ничего бы не изменилось, если бы вместо публикации этой статьи Пуанкаре изложил свое мнение в виде послания, адресованного грядущим поколениям физиков, как это сделал Майкл Фарадей<sup>2)</sup>. Впрочем, статья как раз и сыграла роль такого письма в будущее, поскольку изложенные в ней идеи не были восприняты на протяжении полувека. Это весьма красноречиво характеризует глубину мышления ее автора.

Истоки непонимания взглядов Пуанкаре кроются в забвении его ранней работы «Измерение времени», в которой он вскрывает условный характер одновременности. Это центральное понятие было введено в теорию относительности Эйнштейном без тех разъяснений его конвенциональной сущности, которые были даны французским ученым В результате стало возможным такое ошибочное в своей ограниченности понимание этой теории, при котором основное внимание акцентировалось на «несостоятельности» преобразований Галилея<sup>3)</sup>. Ограниченными оказались связанные с этой трактовкой представления о существо-

---

<sup>1)</sup> Приняв одновременность, основанную на предположении о равенстве скоростей света в двух противоположных направлениях и свои для каждой системы, так называемые собственные эталоны длины и длительности, мы связываем пространственно-временные координаты двух движущихся систем преобразованиями Лоренца. Но если выбрать для всех систем единую одновременность и единые эталоны длины и длительности, то пространственно-временные координаты систем окажутся связанными преобразованиями Галилея.

<sup>2)</sup> В 1832 году Фарадей пришел к выводу, что магнитное воздействие и электрическая индукция должны распространяться в пространстве с конечной скоростью в виде волн. Но сознавая, насколько его взгляды опережают существовавшие тогда научные представления, он не стал публиковать свою идею, а направил в Королевское общество запечатанный конверт с надписью «Новые воззрения, подлежащие хранению в архивах Королевского общества», который был обнаружен и вскрыт лишь через 106 лет.

<sup>3)</sup> На самом же деле, затруднения классической физики состояли вовсе не в использовании преобразований Галилея, а в непонимании того обстоятельства, что необходимо отказаться от галилеевского принципа относительности, от инвариантности законов физики относительно этих преобразований.

вании в каждой системе своего само собой идущего времени и своих пространственных масштабов, истолковываемых в отрыве от общих свойств физических процессов. Это недопонимание нашло отражение в принятой логике построения теории относительности, когда из релятивистских свойств пространства и времени выводятся новые свойства движения при высоких скоростях.

На этот недостаток принятого им построения теории указал впоследствии и сам Эйнштейн, отметив в своей творческой автобиографии неправомерность отделения масштабов и часов от всего остального мира физических явлений. «Можно заметить, — писал он, — что теория вводит (помимо четырехмерного пространства) два рода физических предметов... Это в известном смысле нелогично; собственно говоря, теорию масштабов и часов следовало бы выводить из решений основных уравнений (учитывая, что эти предметы имеют атомную структуру и движутся), а не считать ее независимой от них»<sup>1)</sup>. Этим высказыванием Эйнштейн фактически признал более логичным тот путь построения теории быстрых движений, который избрал Лоренц и который был в свое время признан лишь Пуанкаре.

Включив Пуанкаре в число участников Сольвеевского конгресса, его организаторы рассчитывали на чрезвычайно полезное участие французского ученого в обсуждении назревших проблем физической науки. Их надежды полностью оправдались. В трех своих статьях, опубликованных в 1911—1912 годах, Пуанкаре выступил с теоретическими исследованиями, сыгравшими значительную роль в обосновании необходимости квантовой гипотезы. Они явились важным этапом на пути к дальнейшему развитию квантовых представлений. В другой своей статье — «Новые концепции материи» (опубликованной тогда в философском сборнике «Современный материализм» и включенной в настоящее издание) — Пуанкаре рассказал о постоянной борьбе между концепциями, представляющими материю непрерывной или же, наоборот, дискретной субстанцией; о последней победе идеи дискретности; о квантовой теории излучения Планка. Но автор призывает не торопиться с выводом об окончательном падении концепции непрерывности материи и предрекает ее возрождение на новом уровне в ходе вечной борьбы двух противоположных концепций. И действительно, идея дискретности излучения вскоре была дополнена не менее удивительной идеей об универсальных непрерывных свойствах материи, согласно которой каждой дискретной частице сопоставляется определенный волновой процесс в реальном физическом пространстве. На основе синтеза этих противоположных сущностей микрообъектов в 20-е годы нашего века возникла квантовая и волновая механика, в которой строгое теоретическое описание явлений атомного мира достигалось ценой отказа от основных положений классической механики. Так полностью оправдалось предсказанное Пуанкаре еще в 1904 году открытие совершенно необычных законов, объясняющих спектральные линии излучения атомов. А его общие рассуждения о постоянной жизнеспособности непрерывной и

---

<sup>1)</sup> Эйнштейн А. Собр. научн. трудов, т. 4. — М.: Наука, 1967. — С. 280.



дискретной концепций материи воплотились в самое поразительное открытие физики XX века — в провозглашенный квантовой механикой дуализм корпускулярных и волновых свойств материи, который приобрел ныне решающее универсальное значение для всего микромира.

\* \* \*

Научное наследие Пуанкаре поражает не только широтой охвата точных наук, но и огромным влиянием на их последующее развитие. Он прокладывал в науке новые направления, важность и актуальность которых нередко становились несомненными лишь через годы и десятилетия. Значение его трудов возрастало со временем по мере развертывания заложенных в них идей и методов. Например, в проведенных Пуанкаре исследованиях нелинейных уравнений небесной механики советский ученый А. А. Андронов обнаружил готовый математический аппарат для решения проблемы нелинейных колебаний в радиотехнике, названных им автоколебаниями. Так, почти полвека спустя математические методы Пуанкаре помогли решить практически важную и актуальную задачу.

Точно такая же устремленность в будущее характерна и для физических исследований Пуанкаре. Еще в 1901 году он первым представил уравнения классической механики в групповых переменных, придав им новую, инвариантную форму. И в специальной теории относительности первый шаг в этом направлении был сделан именно Пуанкаре, четко сформулировавшим требование инвариантности законов физики относительно преобразований Лоренца. Таким образом, он первый провозгласил в физике новый, инвариантно-групповой подход, распространив идеи Ф. Клейна, изложенные в его «Эрлангенской программе» для геометрии, на новую область науки. Ныне требование инвариантности стало в физике уже нормой теоретического знания, а релятивистская инвариантность любой физической теории формулируется как инвариантность относительно группы Пуанкаре.

Отвечая на вопрос о том, кто был для него образцом творческой личности, академик А. А. Логунов среди других знаменитых ученых назвал Анри Пуанкаре, особо отметив его современность как физика-теоретика. «В начале века он создал методы, которые физики-теоретики освоили гораздо позже», — говорит А. А. Логунов.

Порой трудно провести четкую границу между конкретными предвидениями Пуанкаре в математке и физике и его общими методологическими идеями, нацеленными на будущее развитие точных наук. Это и понятно, поскольку, как заметил академик А. Д. Александров, все действительно великие математики были в то же время и философами-мыслителями. К таким математикам он относит, наряду с Пифагором, Декартом, Лейбницем, Ньютоном, Лобачевским, Риманом, Брауэром, Гильбертом, и Анри Пуанкаре. Удивительная прозорливость Пуанкаре в науке и верное предчувствие им правильных направлений, в которых должна двигаться физико-математическая мысль, делают некоторые его выводы и суждения по общим проблемам науки ценными ориентирами и для современных ученых. Поэтому до сих пор не ослабевает интерес к творчеству выдающегося француз-

ского ученого, что видно на примере издания в последнее время его избранных трудов в трех томах, его работ по основаниям геометрии, его знаменитого этюда «Математическое творчество». Настоящее издание четырех книг Пуанкаре, посвященных общим проблемам физико-математического знания, будет безусловно полезным для советского читателя. Вооруженный идеями материалистической диалектики, он сумеет отделить в них то, что имеет для науки непреходящую ценность, от некоторых философских непоследовательностей и заблуждений великого ученого.

## ЛИТЕРАТУРА

Ленин В. И. Материализм и эмпириокритицизм. — Полн. собр. соч., т. 18, с. 525.

Ленин В. И. Философские тетради. — Полн. собр. соч., т. 29, с. 782.

Александров П. С. Математические открытия и их восприятие//Научное открытие и его восприятие. — М.: Наука, 1971. — С. 68—72.

Александров П. С. Пуанкаре и топология//Пуанкаре А. Избранные труды в трех томах, т. II. — М.: Наука, 1972. — С. 808—816

Александров П. С. Пуанкаре и топология//УМН. — 1972. — Т. 27, № 1(63). — С. 147—158

Асмус В. Ф. Проблемы интуиции в философии и математике (Очерк истории: XVII — начало XX в.). — М.: Мысль, 1965 (глава восьмая: Проблема интуиции в философии математики Пуанкаре, с. 236—257).

Визгин В. П. Ленинский анализ состояния физики на рубеже XIX—XX вв.//Ленинское философское наследие и современная физика. — М.: Наука, 1981. — С. 222—262.

Добронравов И. Пуанкаре//Философская энциклопедия, т. 4. — М., 1967. — С. 432—433.

История философии в шести томах, т. V. — М.: Изд-во АН СССР, 1961 (глава четырнадцатая: Философская и социологическая мысль во Франции от начала эпохи империализма до конца первой мировой войны, § 1: Буржуазная философия в конце XIX — начале XX в., с. 599—612).

Кравченко А. М. Значение работы В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» для критики современных форм конвенционализма. Работа В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» и актуальные проблемы марксистско-ленинской философии. — Киев Наукова думка, 1979. — С. 314—340.

Кузнецов В. Н. Французская буржуазная философия XX века — М.: Мысль, 1970 (Пуанкаре и конвенционализм, с. 103—123).

Митропольский Ю. А. Жюль-Анри Пуанкаре//Укр. философии. — Киев: Наукова думка, 1979. — С. 314—340.

Молчанов Ю. Б. Четыре концепции времени в философии и физике — М.: Наука, 1977 (глава четвертая. Создание специальной теории относительности — триумф реляционной концепции времени, 1 2: Значение идей А. Пуанкаре, с. 106—110).

Мостепаненко А. М. «Дополнительность» физики и геометрии (Эйнштейн и Пуанкаре)//Эйнштейн и философские проблемы физики XX века. — М.: Наука, 1979. — С. 223—254.

Налчаджян А. А. Некоторые психологические и философские проблемы интуитивного познания (интуиция в процессе научного-творчества). — М.: Мысль, 1972 (глава II: Проблема интуитивного «озарения» в научном творчестве, с. 60—86).

Современная буржуазная философия. — М.: Изд-во МГУ, 1972 (глава II: Позитивизм конца XIX — начала XX в., § 6: Конвенционализм А. Пуанкаре, с. 95—102).

Старосельская-Никитина О. А. Роль Анри Пуанкаре в создании теории относительности // Вопросы истории естествознания и техники. — 1957. — Т. 5. — С. 39—49.

Чудинов Э. М. Теория относительности и философия. — М.: Политиздат, 1974 (глава четвертая: Геометрия и реальность, с. 132—159).

Чудинов Э. М. Послесловие // Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени. — М.: Прогресс, 1969. — С. 553—568.