

Эйнштейн отрицает существование сил и допускает одно движение по инерции, но считает, что пространство в различных местах мира различным образом искривлено. Математически это все очень хорошо, но с физической стороны это сплошная гипотеза и притом гипотеза пока, по крайней мере, не доказуемая. Хейль отзывается с большим восторгом о теории тяготения Эйнштейна. Он, быть может, многое в этом отношении преувеличивает. Но во всяком случае не подлежит сомнению, что это лучшая часть теории Эйнштейна. Весьма наивны рассуждения Хейля об эфире. Он иронически отзывается о физиках, требующих существования эфира, раз доказано существование его волн. Он говорит физикам: нужно подлежащее к сказуемому „волноваться“. Почему же,—говорит он далее,—им не удовлетвориться подлежащим „пространство“ к сказуемому „изгибаться“.

Совершенно основательно критикует Хейль теорию вращательных движений в принципе относительности. Он указывает, что здесь теория относительности поворачивает назад к Птоломею, и не только потому, что она ставит под сомнение открытие Коперника, но и потому, что она вводит усложнение не менее значительное, чем „эпипикиллы“¹⁾ Птоломея. Свою мысль он формулирует следующей шуткой: в области учения о вращательных движениях „Эйнштейн перептоломеил Птоломея“!

А. Тимирязев.

Здравый смысл теории относительности²⁾.

В наше время нельзя произнести слово тяготение—без того, чтобы на ум не пришли имена Ньютона и Эйнштейна. Связь Ньютона с этим предметом привычна для всех; что же дал Эйнштейн, и почему его имя упоминается одновременно с именем Ньютона?

Напомним вкратце, почему по поводу тяготения вспоминают Ньютона.

Объяснение падения тел притягательной силой земного шара, без сомнения, не было у Ньютона оригинальным. Это представление было в ходу у Галилея; оно было известно и Аристотелю. И закон обратных квадратов вдохновил также не один ум до опубликования „Principia“. Главной заслугой Ньютона в этом деле было установление и доказательство всеобщности тяготения по закону обратных

¹⁾ Птоломей предполагал, что планеты движутся по кругам вокруг земли, но тогда для объяснения т.-н. „изогнутых“ движений планет приходилось допускать, что планета имеет сложное движение. Приходилось допускать, что по кругу вокруг земли движется центр маленького круга (эпипикилл), по которому уже движется сама планета. Позднее число этих эпипикиллов было значительно увеличено.

²⁾ Статья помещена в декабрьской книжке научного ежемесячника The Scientific Monthly за 1923 год в Нью-Йорке. Перевод Вл. Семенченко. Прим. ред.

квадратов, как вполне объясняющего, во-первых, движение луны вокруг земли, потом различных планет вокруг солнца и, наконец, по сделанной им законной экстраполяции для случая движения любого члена звездной вселенной.

Каждая гипотеза, как бы она ни была безупречна логически и хороша математически, по существу дела должна перед окончательным принятием подвергнуться испытанию на опыте. В применении к Ньютоновскому закону тяготения это испытание продолжалось многие годы и заключалось в продолжительном наблюдении движения планет. Из десятилетия в десятилетие наблюдалось, как эти тела с изумительной точностью следуют по путям, предписанным им законом обратных квадратов. С течением времени стали более совершенными не только употребляемые инструменты, но и промежутки времени, за которые сравниваются наблюдения, стали измеряться точнее. Однако Ньютон так точно определил эти пути, что протекло столетие прежде, чем стали заметны серьезные расхождения между наблюдениями и теорией. Наконец, в 1845 году Леверье обратил внимание на то обстоятельство, что планета Меркурий обнаруживает незначительную неправильность в своем движении, противоречащую закону обратных квадратов, и слишком большую, чтобы быть объясненной ошибками наблюдения. Это расхождение было подтверждено новейшими астрономами. Серьезность, с которой в общем смотрели на это отступление доказывается тем, что после того, как все другие попытки выяснить эту аномалию оказались несостоятельными, было сделано радикальное предложение изменить слегка Ньютоновский закон, заменив показатель 2 на 200,00001612. Впервые это было предложено, открывшим спутников Марса, Азафом Холлом; и в продолжение некоторого времени Ньюком, не менее авторитетный в этом вопросе, сочувственно относился к этому, оставив такой взгляд только после того, как Броун показал, что движение луны не дает даже и столь слабого отклонения от целого числа 2. Таким образом аномальное поведение Меркурия осталось невыясненным. Простота Ньютоновского закона обратных квадратов и свойственная ему логичность и правдоподобие геометрических соображений перевешивали в его пользу тем более, что повторяющиеся неудачи объяснять неправильности в движении Меркурия присутствием неизвестных притягивающих эту планету скоплений материи вызывали в некоторых кругах склонность усомниться в реальности указанного расхождения.

Таково было положение дел, когда на сцену явился Эйнштейн с его знаменитым новым законом тяготения. Этот закон имеет немногое, что могло бы сообщить ему действительную привлекательность. В противоположность к той простоте, которая характеризует закон Ньютона, закон Эйнштейна является сложным до крайности. В то время, как закон Ньютона имеет форму простого дифференциального уравнения, закон Эйнштейна выражается целой компанией из десяти совместных дифференциальных уравнений, каждое из которых имеет

столь ужасный и чудовищный вид, что пришлось прибегнуть к совсем необычному и необыкновенно сокращенному методу обозначения, чтобы изобразить эту теорию в печати. Гораздо менее внушительные теории пали, благодаря собственной тяжеловесности, но теория Эйнштейна, несмотря на ее отталкивающую внешность, постепенно завоевала себе признание, только благодаря тому, что она смогла дать результаты.

Она не только также хорошо объясняет все объяснимое законом Ньютона, но и непринужденно выясняет большое затруднение, вызываемое неправильностью движений Меркурия¹⁾. Более того, она берется за занятие, всегда сомнительное,—за предсказания; она указывает существование явления, до сих пор еще не наблюдавшегося, отклонение светового луча под действием интенсивных гравитационных сил, существующих вблизи солнца. Это предсказание недавно получило окончательный штамп экспериментальной проверки в результатах экспедиции Ликской обсерватории на солнечное затмение 1922 года. Этот результат имеет тем больший вес, что директор Кемпбелл известен, как человек, не имеющий особенной склонности к Эйнштейну²⁾.

Такие успехи части новой теории требуют для нее со стороны всех, кто занимается и называет себя физиком, серьезного внимания. Чтобы получить естественную перспективу для понимания этого предмета, для нас будет небесполезно вкратце обозреть историю теории тяготения.

Среди множества различных явлений, изучаемых физиками, тяготение, со времен Ньютона, стоит особняком. В остальном скоро произошло объединение всех физических явлений. Темплота потеряла индивидуальное бытие, как некая невесомая сущность (теплород) и стала одной из многих форм, непрерывно меняющейся, энергии. Были найдены соотношения между магнетизмом и электричеством и между электричеством и светом. Также и сама материя рассматривается теперь, как имеющая электрическое строение. Однако тяготение осталось в стороне, стойко опровергая какое-либо родство с другими физическими явлениями. Правда, здесь есть поверхностное сходство с притяжением наэлектризованных и намагниченных тел; но это сходство кончается законом обратных квадратов. Магнитное притяжение может быть уничтожено соответствующими экранами и в сильной степени зависит от изменений температуры³⁾; и в электростатике мы

¹⁾ В настоящее время, оказалось, что подсчет наблюдений движений Меркурия, сделанный Леверье и другими астрономами, не совсем точен и потому не получается такого хорошего согласия между теорией Эйнштейна и действительностью, как это думали раньше.
Прим. ред.

²⁾ На съезде в Бонне в сентябре 1923 года результаты этой экспедиции были подвергнуты сомнению, при чем было признано всеми, не исключая самого Эйнштейна, присутствовавшего на съезде, что об окончательной экспериментальной проверке говорить еще рано. *Прим. ред.*

³⁾ Помещая магнитную стрелку в железный цилиндр, мы можем сделать ее почти нечувствительной к действию магнитов, расположенных вне цилиндра, чем и пользуются во многих физических приборах.

имеем дело с диэлектрической постоянной, эффектом промежуточной среды¹⁾. Ничего подобного не существует для тяготения. Много экспериментальных работ было сделано в надежде открыть что-нибудь влияющее на тяготение, но все результаты были отрицательными. Опыты с маятником в руках Ньютона и затем Бесселя показали, что тяготение не зависит от рода вещества. В опытах Бесселя точность достигала $\frac{1}{6.000}$. Интересно отметить, что между веществами, исследованными им, было метеорное железо и метеориты. Позднейшие опыты Этвеша с крутильным маятником довели точность до одной двухсотмиллионной. Недавние опыты Стандарт-Бюро показали с точностью до одной биллионной (10^{-9}), что тяготение не изменяется в зависимости от ориентации кристалла в гравитационном поле земли. Известно таким образом, что тяготение не является функцией температуры, и, вопреки некоторым недавним попыткам доказать обратное, кажется, можно считать хорошо установленным факт, что масса всей земли не производит ощутительного эффекта гравитационного заграждения. Действительно, тяготение, кажется, является функцией только действующих масс и пространственных координат системы.

Нельзя, однако, сказать, чтобы по этому поводу не делалось никаких гипотез. Ньютон официально в своем образцовом сочинении „не делает гипотез“, но его письма показывают, что частным образом он спекулировал охотно, как и надлежит каждому ученому. По поводу тяготения были предложены некоторые спекулятивные теории. Годичный Смитсоновский отчет за 1876 год содержит собрание всех гипотез подобного рода, числом двадцать пять или тридцать, которые нашли дорогу в печать со времен Ньютона. С того времени можно прибавить еще с полдюжины гипотез, подобных предложенной Осборном Рейнольдсом. Не стоит, пожалуй, даже и указывать, что все эти гипотезы имеют в настоящее время только исторический интерес.

Как общий результат всех этих теоретизирований и опытов, мы можем сказать, что в начале двадцатого столетия наши знания о тяготении были почти такими же, какими их оставил Ньютон. Здесь мы имеем изобилие отрицательных результатов и никаких положительных. Следовательно, теория Эйнштейна, дающая нам два упомянутых раньше важных результата, является первым несомненным успехом в теории тяготения за два столетия.

Теорию тяготения Эйнштейна можно сравнить с замками средневековой Европы. Их каменные стены были непоколебимы против средств нападения, известных в те дни, но эти твердыни всегда имели уязвимое место — ворота, через которые они сообщались с внешним

¹⁾ Притяжение двух изолированных тел зависит не только от их заряда, но и от вещества, находящегося между ними, напр., в воде оно будет в 81,7 раз слабее, чем в воздухе. Число, показывающее, во сколько раз сила ослабляется в данном веществе, называется его диэлектрической постоянной. *Прим. перев.*

миром. Через эти ворота их обыкновенно атаковывали и часто завоевывали.

Так дело обстоит и с рассматриваемой теорией. Она является глубокой, логически последовательной и, я думаю, математически неуязвимой; однако она связана с миром физики основным постулатором, который, при окончательном анализе, должен быть проверен опытом. Если этот постулат ошибочен, то и вся теория ошибочна вместе с ним. Этот постулат называется принципом эквивалентности.

Я сказал, что тяготение стоит между физическими явлениями в особом разряде. Это не вполне верно, потому что Эйнштейн был первым, указавшим на то, что есть другое явление того же порядка, именно инерция, особенно в форме, известной под именем центробежной силы. Центробежная сила независима от рода вещества, она не является функцией температуры и не может быть уничтожена посредством какого бы то ни было заграждения. Действительно, центробежная сила, подобно тяготению, оказывается, будет функцией только действующих масс и пространственных и временных координат системы.

Исходя из этого параллелизма между явлениями, Эйнштейн формулировал принцип эквивалентности тяготения и инерции, тождество их природы и, как следствие, невозможность отличия между ними. За всю историю учения о тяготении умозрения были совершенно отличны от этого; эта идея является совершенно оригинальной. Все предшествующие теории пытались каким-нибудь образом учесть существование сил, сближающих притягивающиеся тела, обычно предполагая их извне сжимаемыми вместе каким-нибудь перехваченным потоком более или менее неопределенного вида. Эйнштейн принял абсолютно новые основания. Вместо того, чтобы пытаться заменить силу притяжения производящим ее механизмом, он отвергает существование подобной силы. По его теории между землей и солнцем больше не существует силы притяжения, земля удерживается на своей орбите центробежной силой отталкивания, мешающей ей упасть на солнце. Обе эти, так называемые, „силы“ являются математическими фикциями; обе есть различные виды единой сущности инерции.

Эйнштейн не делает этого нового допущения без известных экспериментальных оснований. Равенство или, по крайней мере, пропорциональность между инертной и тяготеющей весомой массой тел является в природе, как мы видели, одним из наиболее точно определенных фактов. Невозможность открыть какие-нибудь гравитационные отличия¹⁾ в кристалле, который во всех других отношениях кроме инерции является анизотропным, определенно ставит тяготение и инерцию в один разряд и все другие кристаллические свойства в

¹⁾ Свойства кристалла: теплопроводность, способность расширяться от тепла и упругость не одинаковы в различных направлениях. Это явление носит название анизотропии. Как подчеркивает автор кристалл к инерции относится иначе: здесь его свойства однаковы во всех направлениях. *Прим. пер.*

другой. При законе Ньютона эта точная пропорциональность или равенство инертной и тяготеющей массы казалось только любопытным, но случайным совпадением. В теории Эйнштейна она является краеугольным камнем.

На формально-математическом языке принцип эквивалентности выражается иногда следующим образом: „Всякое естественное гравитационное силовое поле эквивалентно искусенному полю сил инерции, происходящему от соответствующего изменения координат“.

Это сказано довольно-таки хитро. Но ввиду важности дела стоит попытаться составить себе ясное понятие о том, что означают эти слова.

По интервью, опубликованному несколько лет тому назад в ежедневной печати, случайное обстоятельство направило внимание Эйнштейна в эту сторону. Эта история весьма любопытным образом подобна произшествию с Ньютоном и падающим яблоком. Оказывается, что Эйнштейн видел человека, упавшего с эстрады вниз на кучу хвороста и избежавшего серьезных ушибов. Эйнштейн, который производит впечатление человека наивного, интервьюировал жертву случая и спросил его, чувствовал ли он, когда свободно падал через воздух, тянувшее его вниз притяжение земли. Дисциплинированный наблюдатель мог весьма усомниться в том, что состояние духа при подобных обстоятельствах является годным для производства научных наблюдений; но этот человек принял вопрос Эйнштейна всерьез и уверял его, что не помнит ничего подобного. Этот ответ был таким, как ожидал Эйнштейн. „Ага, — сказал он, — координаты этого человека преобразовались от покоящейся к системе движущейся, как раз с такой степенью ускорения, чтобы нейтрализовать гравитационное притяжение земли“.

Другой иллюстрацией, могущей помочь нам уяснить эту связь, является подъемная машина — лифт. Вообразим лифт с плотными стенами, в котором находится наблюдатель. Сначала предположим, что лифт поконится. Если пуля пробивает извне стену лифта, путь пули будет казаться наблюдателю внутри прямой линией от стены до стены, однако не горизонтальной обязательно. То же самое будет верным и при равномерном движении лифта. Но, если лифт будет находиться в ускоренном движении, скажем вверх, путь пули не будет больше казаться прямой, но уже кривой линией выпуклой кверху. Наблюдатель может объяснить этот криволинейный путь, сказав, что пуля движется по равнодействующей двух сил: своего начального импульса, сообщающего ей прямолинейное движение от стены до стены, слагающегося с силой притяжения неизвестного происхождения, влекущей пулю вниз к полу подъемника.

Еще другая иллюстрация, использованная Эйнштейном — вращающийся диск. Вообразим большой горизонтальный диск, могущий нести на себе наблюдателя, вроде тех, которых можно видеть в увеселительных парках. Пусть диск покрыт большой куполообразной крышкой так, что наблюдатель внутри не может непосредственно отличать, вра-

щается ли диск или нет. Предположим, что диск сначала неподвижен. Наблюдатель, прогуливаясь от одной точки этого маленького мирка до другой, не обнаружит между этими точками различий. Но пусть диск будет вращаться, и, хотя наблюдатель не может прямо обнаружить вращения, он заметит некоторую разницу. В каждой точке этого пространства, исключая центра, он будет испытывать силу, отталкивающую его по радиусу наружу, и чем больше расстояние от центра, тем больше и сила отталкивания. Действительно, он будет жить в вывернутом некоторым образом наизнанку гравитационном поле. Однако эта „сила“ отталкивания по своей природе является чисто инертной. Кроме того эта сила, будучи пропорциональна квадрату скорости вращения, будет одинаковой — вращается ли диск в положительном или отрицательном направлении; но, если мы предположим, что диску сообщена мнимая скорость вращения $v\sqrt{-1}$, сила, испытываемая наблюдателем, будет теперь пропорциональна $(v\sqrt{-1})^2$ или $-v^2$; другими словами сила будет теперь притягивающей к центру, еще более похожей на тяготение, однако строго инерциальной по своему происхождению.

Как ни недостаточны эти иллюстрации для того, чтобы представить действительное гравитационное поле какого-нибудь тела, они тем не менее помогают нам понять, что думал Эйнштейн, говоря, что гравитационное поле эквивалентно полю инерции, получающемуся надлежащим изменением координат; однако ни один из этих примеров не доставляет нам изменения координат, вполне равноценного представлению о действительном трехмерном гравитационном поле частицы. Задача нахождения такой координатной системы, если она действительно должна существовать, может очень смутить даже лучшего математика; однако с высокой верой в свою интуицию Эйнштейн сам принялся за эту задачу.

И тогда произошло чудесное событие, потому что по ничтожным намекам и руководясь главным образом тем, что мы можем назвать интуицией гения, он добился успеха. Он нашел некоторое преобразование пространственных и временных координат, которое представляет действительные физические явления, в гравитационном поле тел даже более точно, чем закон Ньютона, которое согласуется точно и с особенностями в движении планеты Меркурий и с путем светового луча, близко подошедшего к солнцу; преобразование, которое вполне оправдывает смелое утверждение принципа эквивалентности, что естественное гравитационное поле может быть вполне заменено искусственным полем инерции, созданным заменой координат.

Какова природа этой новой системы координат? Такова ли она, как у падающего человека, подымающегося лифта или вращающегося диска? Нет, ни одна из этих, и не имеет даже отдаленного сходства ни с одной из них. Это понятие до крайности трансцендентальное, так как оно предполагает четырехмерное неевклидово по своему характеру пространство, искривленное или слегка покоробленное в пятом

измерений! Опять сильно сказано. Спустимся в мир двух измерений для того, чтобы сделать наши слова наглядными. Рассмотрим пространство двух измерений, искривленное в третьем измерении.

Вообразим бесконечных размеров горизонтальную поверхность спокойной воды, эта поверхность будет двухмерной, имея длину и ширину, но не толщину. Эта поверхность будет идеальной плоскостью, геометрия начертанных на ней фигур будет Евклидова, то-есть сумма углов треугольника будет точно равна 180° и через данную точку может быть проведена только одна линия, параллельная данной прямой. Но положим, что поверхность вместо того, чтобы быть плоской, является сферической, подобно поверхности океана, рассматриваемой на большом протяжении; геометрия фигур, начертанных на такой поверхности, будет значительно отличаться от геометрии фигур на плоской поверхности. Конечно, на сферической поверхности мы не можем провести прямую линию, в обычном смысле этого слова, но мы можем провести линию, удовлетворяющую определению Евклида: кратчайшее расстояние между двумя точками, и, как знает каждый мореплаватель, это будет дуга большого круга. Есть название, употребляемое вообще для всякой кратчайшей линии, начертанной на изогнутой поверхности любого рода: она называется геодезической линией. Её истинная форма, конечно, зависит от того, каким образом изогнута поверхность, и от направления, в котором она идет. Например, на цилиндре геодезическими могут быть прямые линии, дуга круга или промежуточная форма, смотря по тому, направлена ли она параллельно, перпендикулярно или косо к оси цилиндра.

На нашей сферической поверхности три угла треугольника (построенного из геодезических линий) превышают 180° на количество, пропорциональное площади треугольника. Это называется сферическим избытком. На такой поверхности две дуги больших кругов всегда будут пересекаться при достаточном продолжении, то-есть через данную точку нельзя провести геодезическую (или „прямую“), параллельную (то-есть не встречающуюся) к данной геодезической. Поверхность, обладающая такими геометрическими свойствами, называется поверхностью положительной кривизны.

Плавающая на такой водной поверхности частица, если она приходит в движение и свободна от действия всех сил трения притяжения или еще каких-либо, будет описывать кратчайший „прямейший“ путь, который можно найти по первому закону движения Ньютона с добавочным условием об ограничении движения сферической поверхностью; то-есть на изогнутой поверхности естественный путь тела, движущегося не под действием силы, будет геодезической линией.

Могут быть построены поверхности отрицательной кривизны, на которых является верной геометрия, противоположная геометрии поверхностей положительной кривизны; на такой поверхности отрицательной кривизны сумма трех углов треугольника меньше, чем 180° ,

а через данную точку можно провести более, чем одну геодезическую линию, параллельную, т.-е. не пересекающуюся с данной геодезической линией. Примером такой поверхности будет ножка бокала, седло или горное ущелье. Геодезические линии на такой поверхности с евклидовой точки зрения будут казаться курьезно извивающимися.

Подводя итог, мы можем сказать, что пространство является евклидовым, если геометрия фигур, находящихся в нем, подчиняется традиционным постулатам евклидовой геометрии и в частности предполагая, что через данную точку может быть проведена только одна линия, параллельная данной прямой. Если фигуры, перенесенные в это пространство, не подчиняются этому постулату, то пространство называется неевклидовым.

Вернемся теперь к нашей плоской водной поверхности и сделаем ее неевклидовой, искривляя совсем другим образом. При большой осторожности возможно положить на поверхность воды частицу тяжелого вещества, например, свинца или золота так, что она будет плавать¹⁾). Тогда частица лежит, поддерживаемая неразорвавшейся водной поверхностью, изогнутой давлением в виде лунки. Здесь мы имеем поверхность в нормальном состоянии двух измерений, изогнутую или деформированную слегка в направлении третьего измерения вблизи частицы материи. Если мы рассмотрим геометрию фигур, начертанных на искривленном участке водной поверхности, то мы найдем ее неевклидовой и имеющей отрицательную кривизну. Геодезические линии этой части поверхности будут кривыми линиями некоторого вида; но, если продолжать эту геодезическую линию в каком-нибудь направлении далеко от впадины, она скоро будет неотличима от обычновенной прямой линии и геометрия на этой отдаленной части поверхности будет евклидовой.

Вообразим теперь сравнительно тяжелую плавающую частицу, образующую довольно глубокую и обширную впадину. На большом расстоянии в евклидовой области поверхности вообразим небольшую и более легкую частичку, которая едва образует впадину и двигающуюся свободно по поверхности в направлении, которое подведет ее на короткое расстояние к тяжелой частице, внутрь большей впадины. Путь движущейся частицы, сперва являющейся прямой линией, будет после того, как она войдет во впадину, постепенно принимать кривизну или форму геодезической линии, свойственную пространству, в котором она находится. Если не допускать существования между частицами силы притяжения, то движущаяся частица выйдет из углубления и ее путь снова сделается прямым; но, учитывая то небольшое искривление, которому подвергся ее путь при прохождении через углубление, конечная прямая часть его не будет в общем про-

¹⁾ Поверхностный слой жидкостей обладает свойствами упругой перепонки. Этако перепонка и будет поддерживать частицы металла, удельно более тяжелые, чем вода

Прим. пер.

должением начальной прямой части. Частица испытает известное отклонение.

Наблюдатель, следящий за движением частицы, можно сказать, через евклидовско-ньютоновские очки, которые не показывают ему кривизны водной поверхности, скажет: „Да, легкая частица, проходя мимо тяжелой, кажется, в некотором роде испытала силу притяжения и была отклонена от ее прямого пути“. Но заменим его стекла другими, работы Эйнштейна, и он скажет: „Нет, я вижу, что здесь во все нет силы притяжения. Это была только инерция движущейся частицы, комбинированная с особой кривизной поверхности, через которую она прошла, вот что вызвало изменение в ее пути.“

Так будет обстоять дело в двухмерной поверхности, изогнутой в третьем измерении. Уравнения Эйнштейна описывают аналогичное явление, встречающееся в пространстве четырех измерений, слегка изогнутом или образующем впадину около каждой материальной частицы в направлении пятого измерения. Луч света будет идти от звезды через миллионы миль пространства, далекого от материальных тел и которое, следовательно, будет „плоским“ или евклидовским. Путь светового луча через эту область является прямой линией. Но, если он случайно проходит вблизи солнца, огромная масса которого вызывает в пространстве значительное углубление или изгиб, делающий его в непосредственной близости неевклидовым, прямая линия закручивается в геодезическую линию, своюственную пространству данной кривизны; и когда она снова выпрямляется, она отклонится от своего первоначального направления.

Понятие о четвертом измерении было осмеяно физиками много времени тому назад, во дни Лобачевского, но оно снова возвратилось и теперь кажется укрепилось более прочно, чем раньше.

„Но к чему все это? — скажет кто-нибудь. — В вашем заглавии, которое заставило меня дочитать до сих пор, вы обещаете ограничиться здравым смыслом; а что же вы сейчас делаете?“

Теорию Эйнштейна называли многими дурными именами: „противоречащая здравому смыслу“ — одно из самых мягких. Но мы можем в связи с этим напомнить, что есть некоторые теоремы, относящиеся к тяготению, или по крайней мере к центру тяжести, которые, несмотря на то, что считаются чем-то неоспоримым и ортодоксальным, если их понимать буквально, являются столь же абсурдными и нереальными и противоречащими здравому смыслу, как и некоторые положения Эйнштейна. При вычислении статического момента мы привыкли предполагать, что вся масса тела сосредоточена в его центре тяжести.

„Но, — скажете вы, — это только математическая фикция, упрощение. Тела ведут себя таким образом, как будто это было так, и каждый понимает это“.

Хорошо, но почему нужно быть немилостивым и не распространять такую же терпимость на Эйнштейна? Почему не сказать, что

тела ведут себя, как если бы пространство было искривлено, и тяготение было бы ничем иным, как инерцией? Но, если это предположение согласуется с фактами лучше, чем те, которые были предложены раньше? Смотрите на теорию Эйнштейна, если вы хотите, только как на математическую функцию, позади которой не должна быть обязательно физическая реальность. Что реально? „Что есть истина?“ Понтий Пилат был философ.

Это, я думаю, и является здравым смыслом теории относительности.

Я думаю, мы не только можем, но и должны рассматривать эту теорию именно таким образом. Пока мы рассмотрели эту теорию с наименее уязвимой стороны, мы показали наилучшие из ее достижений. Но у нас есть еще кое-что, о чем мы должны сказать.

Теория, приспособленная для объяснения явлений природы, очень похожа на эмпирическое уравнение естественной кривой. Не трудно дать уравнение для небольшой части этой кривой; иногда различные уравнения являются одинаково удовлетворительными; но, если нам нужно уравнение, обнимающее более широкую область, то получить его совпадающим со всеми точками кривой не всегда легко. То же происходит и с „кривой“ природы. Мы желаем найти уравнение, которое по крайней мере в главном согласовалось бы с явлениями тяготения. Ньютоновское уравнение выполняет это требование почти идеально; но здесь в кривой есть небольшой излом, вызываемый планетой Меркурий, для которого уравнение Ньютона является слишком сглаженным, и когда мы идем по кривой дальше, в область, недавно еще не известную, мы находим, что Ньютоновское уравнение начинает отклоняться еще сильнее. Везде во всем этом пространстве уравнение Эйнштейна в совершенстве подражает кривой природы, согласуясь с небольшим изломом, происходящим от Меркурия, и точно смыкаясь с ней в недавно открытой области соотношений между светом и тяготением, где Ньютоново уравнение совершенно отрывается от действительности¹⁾.

Но кривая природы уходит в бесконечность; насколько далеко следует за ней уравнение Эйнштейна?

Может быть, ему и нет надобности итти много дальше.

Я говорил уже, что теория Эйнштейна берется за дело всегда сомнительное—предсказания; и в одном случае (гравитационное отклонение света) оно очевидно исполнилось. Но теория содержит и другое предсказание. Она указывает, что известные линии в солнечном спектре должны слегка сместиться. Величина этого смещения оказывается очень небольшой, и трудно с уверенностью выделить его при наличии смещения под влиянием давления, эффекта Допплера и других поправок. Пока окончательный приговор не вынесен, здесь

¹⁾ Это не совсем так, отклонение луча света можно объяснить, также исходя из Пьютоновой теории. Прим. ред.

имеются показания, несколько неблагоприятные для теории¹⁾, и некоторые горячие последователи Эйнштейна подняли вопрос—является ли это положение действительно необходимым следствием теории. Однако сам Эйнштейн поддерживает взгляд, что это положение является столь существенным, как и другие, и что, если приговор опыта окажется окончательно неутешительным, это дискредитирует всю теорию.

Я думаю, мы можем видеть по этим словам Эйнштейна, насколько здраво смотрит он на это детище своего ума. Будучи математиком, он, естественно, признает только эмпирическое уравнение, подходящее к кривой, хотя и являющееся чем-то вполне отличным от истинного уравнения, и отбрасывает отклоняющееся от нее, если расхождение чересчур велико. „Целый ряд опытных данных не всегда может доказать мне правильность,—сказал сам Эйнштейн.—Но единственный опыт в то же время может доказать мнё ошибку“.

Теория относительности показывает, однако, свою искусственность не в этой части, где она имеет дело с тяготением, а в старой или, как теперь ее называют, специальной теории, опубликованной приблизительно за десять лет до появления общей теории или теории тяготения. Эта часть доктрины Эйнштейна была вдохновлена отрицательным результатом опыта Майкельсона-Морлея²⁾ и других подобных ему попыток открытия нашего абсолютного движения через эфир, и она основывается на постулате невозможности изобрести какой-нибудь опыт, который помог бы нам открыть абсолютное движение в пространстве. Физически это кажется истинным для переносного движения; вращательное движение имеет совершенно другой характер. Если бы земля была вечно скутана облаками, мы всегда могли бы открыть ее вращение при помощи опыта с маятником Фуко или гироскопом. Теория относительности имеет некоторые возражения против этого аргумента; но, как говорит Эддингтон, когда мы доходим до вращательного движения, теория относительности перестает объяснять явления и начинает их разъяснять.

Возражения релятивиста отбрасывают нас в этом случае назад к астрономии Птоломея. Там, где мы привыкли видеть вращающуюся землю, сопровожданную полем центробежной силы, окруженную относительно постоянным миром звезд, релятивист видит покоящуюся землю и вращающуюся звездную сферу! Это совсем уж шаг назад к мрачному прошлому? Было бы еще хорошо, если бы уравнения Эйнштейна не показывали бы, что полое вращающееся тело будет действовать с очень небольшой силой на находящееся внутри него тело. Маятник, колеблющийся внутри массивного полого вращающегося

¹⁾ Добавочные доказательства, благоприятные для теории, были получены недавно St. John'ом, более ранние опыты которого являлись неблагоприятными. *Прим. автора.*

²⁾ В 1922 г. опыт Майкельсона, повторенный Дейтон-Миллером, дал положительный результат. Опыт в отличие от предшествующих был сделан на высоте 1.800 метров над уровнем моря. *Прим. ред.*

цилиндра, будет согласно уравнениям Эйнштейна отклоняться в направлении вращения, будучи слегка увлечен движущейся массой. И эти уравнения даже указывают на существование чего-то подобного центробежной силе в системе покоящейся внутри полой вращающейся массы.

Математически теория имеет таким образом ответ на это; но этому ответу, хотя и вполне совершенному математически, не достает одного очень важного свойства, которое Эддингтон называет „сходимостью“.

Чтобы произвести этот центробежный эффект, который является ничтожным по величине, требуется чудовищная вращающаяся масса; и чем больше радиус вращающегося пустого тела, тем большая масса требуется. Если эффект центробежной силы, наблюдавшей на поверхности земли, происходит от вращения небесной сферы, то общая сумма масс неподвижных звезд, содержащихся там, должна быть огромной, далеко превосходящей всякую возможную оценку, которая может быть допущена. Число потухших солнц вселенной должно во много раз превосходить число видимых, почему мы должны приписать этот эффект более отдаленным и, следовательно, еще большим массам. Чем дальше мы откладываем расчет, тем больше нам приходится платить. По этой гипотезе вселенная подобна пирамиде, поставленной на вершину. Я думаю, здесь ясно сказывается природа теории относительности: пустая математическая пшеница, без реального содержимого; полезная, когда она согласуется с фактами, бесполезная в противном случае. В связи с этим я могу процитировать выразительную характеристику, данную неким лицом нашему общему другу: „Знаю ли я мистера Х!—О, да; он вполне здоров постольку, поскольку он здоров“.

Крайности, к которым может привести нас эта аргументация релятивистов, выясняются из рассмотрения нескольких тел, подобных земле А, В, С... Если эти тела удалены друг от друга не более чем на световой год¹⁾, они практически могут быть рассматриваемы, как находящиеся в центре небесной сферы, если он вообще существует. Положим, на теле А проявляется центробежная сила, на телах В, С—нет; как мы можем ее учесть? Легко и просто, если мы предположим тело А вращающимся, а все остальные покоящимися; но не так просто, если мы предположим А покоящимся, а небесную сферу двигающуюся; чтобы избежать последующего возникновения центробежной силы на В, С..., релятивист должен допустить, что они также находятся во вращении. Как ни поразительно это объяснение, оно не является чем-то новым; потому, что первый из всех релятивистов объяснил кажущееся движение окружающих тел самым простым и успокаивающим душу способом: „все пьяно, кроме меня“.

В этой статье, посвященной теории относительности, мы старались сохранить точку зрения здравого смысла.

¹⁾ Световой год—расстояние, проходимое светом в один год. Примеч. пер.

Прежде чем кончить, мы должны обсудить отдельные пункты, которые не относятся в точности ни к одной категории: мы должны защитить теорию относительности от нападений, которых она не заслуживает.

Одним из пунктов, о котором спорили очень много, является положение о том, что теория относительности показала, что материальная частица не может иметь скорость, превосходящую скорость света. Этого положения нет в оригинальных трудах Эйнштейна. Ошибочно оно приписано ему Кунингамом и Зильберштейном; оно упоминается, но в измененной и поэтому бесспорной форме, у Эддингтона. В последнем официальном произведении Эйнштейна (пренстонских лекциях) это положение не появляется; оно находится в примечании, возможно имеющем иное происхождение. Оно встречается также в некоторых американских статьях.

Что инерция движущегося заряженного тела приближается к бесконечности, когда его скорость приближается к скорости света, было известно до Эйнштейна как следствие классической теории¹⁾, и экспериментальное подтверждение этого было найдено при изучении быстро движущихся электронов. Так как источником этой увеличивающейся инерции будет очевидно работа, затраченная на возбуждение движущегося электромагнитного поля, то это положение не возбуждает никакого антагонизма.

Одна из важнейших теорем старой или специальной теории относительности касается двух систем А и В, при чем В находится в движении относительно А, и обе системы сообщаются при помощи световых сигналов, отправляемых из А в В. Когда скорость В (относительно А) превышает скорость света, то эти формулы непригодны или дают мнимые значения. И кажется правдоподобным, что кто-нибудь, помня упомянутую раньше до-Эйнштейновскую доктрину о предельной скорости и смотря на формулы Эйнштейна больше с энтузиазмом, чем критически, заключил несколько поспешно, что между ними была некоторая связь. В действительности же есть или должно быть очевидно, что непригодность формул Эйнштейна не является чем-то более трансцендентальным, чем факт, что если В движется со скоростью большей, чем скорость света, то световые сигналы с А не могут догнать В и больше ничего.

Теория относительности была раскритикована за попытку убрать эфир, не предложив взамен него никакого объяснения механизма распространения света и, в частности, обходя глубоким молчанием вопрос об интерференции. Я думаю, на это релятивист может честно возразить, что теория рассматривает распространение света в широком аспекте, при его движении по „путям наименьшего действия“, геодезическим линиям изогнутого пространства, и явления, выводи-

¹⁾ См. статью А. К. Тимирязева в № 4 „Под знаменем марксизма“ за 1922 г.
Прим. пер.

мые из этой гипотезы. Что касается упразднения эфира, то этот процесс зашел уже так далеко еще до Эйнштейна, что не считалось неудобным определять эфир просто как „подлежащее глагола волноваться“. В действительности пространство Эйнштейна не совсем хуже современного понятия об эфире; оно равно хорошо может быть описано, как „подлежащее от глагола изгибаться“; и если оно может изгибаться, почему оно не может колебаться? Почему мы не могли бы иметь здесь волны, налагающихся на более широкие неподвижные изгибы основного вещества и распространяющиеся по обычным законам распространения возмущений в упругой среде? По этому взгляду, выбор между старым и новым ограничен. Материя является статическим напряжением, а непрерывная деформация в пространстве—эфиром или чем-нибудь еще; и необходимо только наделить представление Эйнштейна о пространстве упругостью в такой же степени, как способностью к искривлению, чтобы иметь в руках окончательную структуру, пригодную для объяснения оптических явлений, о которых молчит теория относительности.

Другая вещь, которую мы не можем обойти здесь молчанием, сводится к некоторому неосновательному выводу, на основании которого на почве теории относительности легко сбить с толку самую здоровую голову. За это ответственен только один из последователей Эйнштейна. Замечательно, что именно тот, кто является наиболее блестящим истолкователем Эйнштейна и кто послужил для пишущего эти строки ключом для чтения иероглифов Эйнштейна, оказался объятым заблуждением, что, когда количество делается единицей, то оно теряет свою размерность. Математические следствия такой процедуры могут, как справедливо заметил Лодж, привести только к скандалу.

Может быть, эта статья приведет кого-нибудь к чтению или попытке чтения Эйнштейна. Нужно сказать, что он почти невозможен для чтения, даже для физиков с несколько более чем средним математическим багажем. Можно предложить, как комментарий, рекомендуемый во всех отношениях, математических и нематематических, небольшую книгу Фрейндлиха под заглавием „Основы теории тяготения Эйнштейна“¹⁾. Старая или специальная теория здраво и просто изложена Кунигамом. Эддингтон блестящ: он стимулирует ум читателя в нематематической части изложения. Но его математические сочинения нельзя рекомендовать начинающим.

В качестве общей теории космоса теория Эйнштейна вдохновлена астрономией Птоломея. В свое время теория Птоломея была в почете. Она содержала неплохие мысли и отлично истолковывала различные астрономические факты, известные в то время. Но даже, если бы не было Коперника, теория Птоломея была бы отброшена после Фуко.

¹⁾ Есть на русском языке в серии „Современные проблемы естествознания“. Госиздат. 1924 г.

Это же и происходит с теорией Эйнштейна. По своей сложности она перептоломеила Птоломея; и, несомненно, некоторые из нас с удовольствием вспоминают слова невежественного, но практичного короля Альфонса, который по поводу Птоломеевской системы сожалел, что он не присутствовал при сотворении мира, ибо он смог бы предложить лучший план. Сейчас никто не предложил теории более удовлетворительной, чем теория Эйнштейна; но, без сомнения, может наступить и наступит час, когда появится подходящий человек и когда приспешет время. Ньютон чеканил так точно, что прошло два столетия, прежде чем Эйнштейн смог улучшить его формулу; и пока неизвестно, сколько времени пройдет, пока следующий поправочный член будет прибавлен к эмпирическому уравнению великой кривой природы.

Пауль Хейль.

Химическое средство и валентность по новейшим исследованиям.

I.

В основу химии со времени Дальтона положена теория атомов. Согласно взглядам Дальтона, всякое вещество представляет собою сбражие огромного количества чрезвычайно малых частиц — молекул, при чем каждая молекула представляет собою сбражие нескольких атомов. Эта теория позволила охватить множество фактов и объяснить множество явлений, но она также выдвинула много новых вопросов. Чем объяснить прочность одних молекул и непрочность других? Почему атомы соединяются в молекулу, какие силы удерживают их друг возле друга? Силу, действующую между атомами, представляли подобной силе ньютоновского тяготения, которая на чрезвычайно малых расстояниях должна проявлять себя соответственно сильнее. Но эту молекулярную силу нельзя было отождествлять с тяготением, так как некоторые атомы притягиваются друг к другу очень энергично, другие же слабо. А именно вещества, наиболее несходные по свойствам, образуют наиболее прочные соединения; атомы же сходных веществ связываются между собою слабо. Силы, регулирующие образование химических соединений, были названы силами избирательного средства, но природа их оставалась вполне неизвестной.

Но кроме сил средства необходим еще и другой закон, который бы регулировал сочетание атомов. Пусть атомы будут неизменны в условиях химических превращений; но если бы атомы различных веществ сцеплялись в молекулу в любом неопределенном количестве, то не могли бы иметь место законы постоянства состава и кратных отношений; мы не могли бы тогда характеризовать химические соединения