ния новой более общей теории, в рамках которой она сама остается предельным случаем.

В только что приведенном примере распространения света мы видели, что общий принцип относительности дает нам возможность теоретически определить влияние поля тяготения на течение процессов, законы которых в отсутствие поля тяготения уже известны. Однако наиболее увлекательной задачей, ключ к решению которой дает общий принцип относительности, является отыскание закона, которому подчиняется само гравитационное поле. Здесь дело заключается в следующем.

Мы знаем пространственно-временные области, которые при соответствующем выборе тела отсчета обладают (приблизительно) «галилеевскими» свойствами, т.е. области, в которых гравитационные поля отсутствуют. Если такую область мы отнесем теперь к любому движущемуся телу отсчета K', то относительно K' будем иметь переменное во времени и пространстве гравитационное поле[1]. Свойства этого поля зависят, очевидно, от того, каким мы выберем движение тела отсчета K'. Общий закон гравитационного поля должен, согласно общей теории относительности, выполняться для всех получаемых таким образом гравитационных полей. Хотя отнюдь не все гравитационные поля могут быть созданы таким путем, все же можно надеяться вывести из этих специального типа гравитационных полей общий закон гравитации. Эта надежда блестяще оправдалась! Но между ясным пониманием этой цели и ее действительным осуществлением остается преодолеть еще одну серьезную трудность, о которой я не могу умолчать перед читателем, так как она связана с существом вопроса. Нам необходимо еще раз углубить понятие пространственно-временного континуума.

§ 23. Поведение часов и масштабов на вращающихся телах отсчета

До сих пор я умышленно не говорил о физической интерпретации пространственных и временны́х отсчетов в случае общей теории относительности. Тем самым я допустил некоторую небрежность, которая, как мы знаем из специальной теории относительности, никоим образом не является несущественной и простительной. Теперь весьма своевре-

[1] Это следует из обобщения рассуждений в § 20.

менно восполнить этот пробел; однако замечу, что это потребует от читателя терпения и способности к абстрактному мышлению.

Мы опять исходим из много раз использованных, но весьма частных примеров. Рассмотрим пространственно-временну́ю область, в которой относительно тела отсчета K, движущегося соответствующим образом, не существует никакого гравитационного поля; тогда K в отношении данной области является галилеевым телом отсчета, и к нему применимы выводы специальной теории относительности. Отнесем ту же область ко второму телу отсчета K', равномерно вращающемуся относительно K. Для того чтобы картину сделать наглядной, представим себе K' в виде плоского диска, равномерно вращающегося вокруг оси, перпендикулярной его плоскости и проходящей через его центр. Наблюдатель, который сидит не в самом центре диска K', подвергается действию силы, направленной радиально от центра; наблюдатель, находящийся в покое относительно первого тела отсчета K, будет считать эту силу действием инерции (центробежной силой). Пусть, однако, наблюдатель, находящийся на диске, рассматривает этот диск как «покоящееся» тело отсчета; он вправе это сделать на основании общего принципа относительности. Силу, которая действует на него и вообще на тела, покоящиеся относительно диска K', он считает действием гравитационного поля. Правда, пространственное распределение этого поля тяжести не может быть согласовано с законом тяготения Ньютона[1]. Но наблюдатель убежден в справедливости общего принципа относительности и это его не смущает; он справедливо надеется, что можно установить такой общий закон тяготения, который правильно объяснит не только движение созвездий, но и наблюдаемое им силовое поле.

Наблюдатель, находясь на диске, производит эксперименты с часами и измерительными стержнями, стремясь на основании своих наблюдений дать точное определение временны́м и пространственным отсчетам относительно диска K'. Какие при этом эксперименты он будет производить?

Прежде всего наблюдатель поместит двое одинаковых часов: одни — в центре диска, другие — на его периферии, так что и те и другие покоятся относительно диска. Сначала мы спросим, одинаково ли будут идти эти двое часов с точки зрения невращающегося галилеева тела отсчета K. Относительно этого тела часы, находящиеся в цент-

[1] Поле обращается в нуль в центре диска и растет к периферии пропорционально расстоянию от центра.

ре, покоятся, тогда как часы, расположенные на периферии, движутся вследствие вращения относительно K. Поэтому, согласно одному из выводов § 12, часы на периферии, с точки зрения тела отсчета K, будут идти медленнее, чем часы в центре диска. То же самое, очевидно, должен был бы констатировать и человек на диске, если мы представим его сидящим почти в центре диска, вблизи соответствующих часов. Следовательно, на таком диске и вообще во всяком гравитационном поле часы будут идти быстрее или медленнее, в зависимости от места, где они расположены (покоятся). Таким образом, разумное определение времени с помощью часов, неподвижных относительно тела отсчета, невозможно. Подобная же трудность возникает и при попытке применить здесь ранее данное нами определение одновременности, но я не буду подробно останавливаться на этом.

Но в данном случае и определение пространственных координат с самого начала встречает непреодолимые трудности. Именно, если наблюдатель, движущийся вместе с диском, приложит свой единичный масштаб (линейку, длина которой очень мала, по сравнению с радиусом диска) по касательной к внешнему краю диска, то этот масштаб, с точки зрения галилеевой системы, будет короче единицы длины, так как, согласно § 12, движущиеся тела испытывают сокращение в направлении движения. Если же масштаб приложить в направлении радиуса диска, то он, с точки зрения K, не сокращается. Следовательно, если наблюдатель измерит своим масштабом сначала длину окружности диска, а затем его диаметр, и разделит первый результат измерения на второй, то получит для отношения не общеизвестное число $\pi = 3,14\ldots$, а большее число[1]; в тоже время, если сам диск покоится относительно K, то мы должны при этой операции получить в точности число π. Тем самым доказано, что положения геометрии Евклида не могут точно выполняться на вращающемся диске и, таким образом, вообще в гравитационном поле по крайней мере в случае, когда масштабу во всех точках и при всех ориентациях приписывается длина, равная единице. При этом понятие прямой также теряет свой смысл. Поэтому мы не можем точно определить координаты x, y, z относительно диска с помощью метода, использованного в специальной теории относительности. Но если не определены ни координаты, ни времена событий, то не

[1] Во всех этих рассуждениях в качестве тела отсчета следует применять галилееву (невращающуюся) систему K, так как выводы специальной теории относительности справедливы лишь относительно K (относительно же K' существует гравитационное поле).

имеют точного смысла и законы природы, в которые входят эти координаты.

Все это ставит под сомнение правильность изложенных выше рассуждений об общей относительности. На самом деле для точного применения общего принципа относительности требуется точный обходной путь. Последующим изложением читатель должен быть подготовлен к нему.

§ 24. Евклидов и неевклидов континуум

Пусть передо мной поверхность мраморного стола. Я могу перейти от какой-либо точки поверхности к любой другой точке, переходя большое число раз к «соседним» точкам, или, другими словами, переходя от точки к точке без «скачков». Читатель, по-видимому, достаточно ясно понимает (если только он не очень придирчив), что означает здесь понятие «соседний» и «скачки». Эту же мысль мы выражаем, утверждая, что поверхность представляет собою континуум.

Теперь представим себе большое количество небольших по сравнению с размерами стола линеек одинаковой длины; это значит, что концы любой пары линеек совпадают при наложении. Расположим на поверхности стола четыре линейки таким образом, чтобы они образовали четырехугольник, диагонали которого равны между собой (квадрат). Чтобы обеспечить равенство диагоналей, мы пользуемся контрольной линейкой. К этому квадрату мы подстраиваем такие же квадраты, имеющие одну общую сторону с первым; таким же образом рядом с этими последними квадратами строим новые и т. д. В конце концов вся поверхность стола будет покрыта квадратами, причем каждая сторона является общей для двух квадратов и каждая вершина — для четырех квадратов.

То, что это можно сделать без больших трудностей, — истинное чудо! Достаточно только подумать о следующем. Если в некоторой вершине уже сходятся три квадрата, то тем самым уже имеются две стороны четвертого квадрата. Этим уже полностью определено, как должны быть уложены остальные две стороны. Но теперь я уже не могу составить четырехугольник так, чтобы его диагонали были равны. Если они уже равны сами по себе, то это объясняется особо благоприятными свойствами стола и линеек, которым я могу только удивляться! С подобным чудом мы должны были сталкиваться неоднократно, если это построение нам удалось довести до конца.