**Теория относительности**

В. Гейзенберг

Теория относительности всегда играла в современной физике особо важную роль. В ней впервые была показана необходимость периодического изменения основополагающих принципов физики. Поэтому обсуждение тех проблем, которые были подняты и отчасти решены теорией относительности, существенно необходимо для рассмотрения философских аспектов современной физики. В известном смысле можно сказать, что создание теории относительности -- в противоположность квантовой теории -- потребовало сравнительно немного времени с момента окончательного осознания трудностей, о которых в данном случае шла речь, до их разрешения. Повторение опыта Майкельсона Морлеем и Миллером в 1904 году явилось первым надежным доказательством невозможности обнаружить поступательное движение Земли с помощью оптических методов, а решающая работа Эйнштейна появилась менее чем два года спустя. С другой стороны, опыт Морлея и Миллера и работа Эйнштейна явились все-таки, пожалуй, лишь последними фазами развития, которое началось гораздо ранее и которое, по-видимому, можно связать с проблемой "электродинамики движущихся сред".

Электродинамика движущихся сред оказалась важным разделом физики и техники с того времени, как начали строить электромоторы. Серьезная трудность выявилась в этой области только тогда, когда Максвелл вскрыл электромагнитную природу световых волн. Эти волны одним существенным свойством отличаются от других, уже известных ранее волн, например от звуковых волн. Они могут распространяться в пустом пространстве. Если звонок заставить звучать в сосуде, из которого откачан воздух, то звук не достигает пространства вне сосуда. Свет же свободно проходит сквозь безвоздушное пространство. Поэтому предположили, что световые волны можно рассматривать как упругие волны в очень легкой субстанции, называемой эфиром, которую нельзя ни видеть, ни ощущать, но которая заполняет как безвоздушное пространство, так и пространство, занятое другим веществом, например воздухом или стеклом. Мысль о том, что электромагнитные волны обладают своей собственной реальностью, независимой ни от каких тел, в то время еще не приходила физикам в голову. Так как это гипотетическое вещество -- эфир -- могло проникать во все другие тела, то встал вопрос: что происходит, если тело приведено в движение? Принимает ли эфир участие в этом движении, и если да, то как распространяется световая волна в этом движущемся эфире?

Эксперименты, которые дают ответ на этот вопрос, трудны по следующей причине: скорости движущихся тел обычно чрезвычайно малы по сравнению со скоростью света. Поэтому движение этих тел может вызвать только очень незначительные эффекты, приблизительно пропорциональные отношению скорости тела к скорости света или более высокой степени этого отношения. Разнообразные эксперименты Вильсона, Роуланда, Рентгена, Эйхенвальда и Физо позволили измерить такие эффекты с точностью, соответствующей первой степени этого отношения. Электронная теория, развитая Лоренцом в 1895 году, дала удовлетворительное описание этих эффектов "первого порядка". Но эксперимент Майкельсона, Морлея и Миллера создал новую ситуацию.

Этот эксперимент следует обсудить подробно. Чтобы получить большие эффекты, а тем самым и более точные результаты, казалось целесообразным экспериментировать с телами, двужущимися очень быстро. Земля движется вокруг Солнца со скоростью около 30 км/сек. Если эфир покоится относительно Солнца и не увлекается Землей, то это быстрое движение эфира относительно Земли с необходимостью должно проявляться в изменении скорости распространения света на Земле. Тогда должны получаться различные значения скорости света, смотря по тому, как распространяется свет -- в направлении движения Земли или перпендикулярно к этому направлению. Даже если эфир увлекается Землей частично, должен еще получаться некоторый эффект, так как имел бы место, так сказать, эфирный ветер, и этот эффект должен тогда зависеть, вероятно, от высоты над уровнем моря, на которой проводится эксперимент. Вычисление эффекта, который следует ожидать, показывает, что он в данном случае должен быть очень малым, так как оказывается пропорциональным квадрату отношения скорости Земли к скорости света. Поэтому необходимо поставить точные эксперименты по интерференции двух световых пучков, один из которых направлен параллельно, а другой -- перпендикулярно к направлению движения Земли. Первый эксперимент такого рода, выполненный Майкельсоном в 1881 году, был недостаточно точен. Но и последующие повторные эксперименты не обнаружили ни малейших следов ожидаемого эффекта. Такого рода окончательным доказательством того, что эффект ожидаемого порядка величины не имеет места, являются в особенности эксперименты Морлея и Миллера 1904 года.

Их результат казался сначала непонятным, но он имеет отношение и к другому вопросу, незадолго до этого уже обсуждавшемуся физиками. В ньютоновской механике справедлив определенный принцип относительности, который можно характеризовать следующими словами: если в определенной системе отсчета законы ньютоновской механики выполняются для механического движения тела, в таком случае это имеет место и в любой другой системе отсчета, движущейся относительно первой системы равномерно и прямолинейно. Равномерное и прямолинейное движение не вызывает, таким образом, никаких механических эффектов в этой системе, и поэтому эти эффекты не могут служить средством обнаружения такого движения.

Подобного рода принцип относительности, как казалось физикам, не мог быть справедлив в оптике и электродинамике. Ибо если первая система покоится относительно эфира, то движущаяся система, напротив, не находится в состоянии покоя, и отсюда следует, что движение этой второй системы относительно эфира можно наблюдать благодаря эффектам того рода, которые были исследованы Майкельсоном. Отрицательный результат опыта Морлея и Миллера 1904 года позволял поэтому снова воскресить идею о том, что принцип относительности такого рода все-таки, вероятно, мог быть также справедлив в электродинамике, как и ранее в ньютоновской механике.

С другой стороны, имелся старый опыт Физо 1851 года, который, казалось, непосредственно противоречил этому принципу относительности. Физо исследовал скорость света в движущейся жидкости. Если бы принцип относительности был справедлив, то суммарная скорость света в движущейся жидкости должна была бы быть равной сумме скорости жидкости и скорости света в покоящейся жидкости. Однако это было не так. Опыт Физо показал, что суммарная скорость была несколько меньше, чем указанная сумма.

Несмотря на это, отрицательный результат всех новейших попыток обнаружить движение относительно эфира побуждал физиков и математиков искать такое математическое толкование этих опытов, которое могло бы согласовать друг с другом волновое уравнение для распространения света и принцип относительности. Поэтому Лоренц предложил в 1904 году математическое преобразование, которое удовлетворяло этому требованию9. Он должен был для этого ввести гипотезу, что движущиеся тела сокращаются в направлении своего движения (причем коэффициент сокращения зависит от скорости тела), а также что в различных системах отсчета измеряются различные кажущиеся промежутки времени, которые во многих опытах играют ту же роль, какую до сих пор играли реальные промежутки времени. На таком пути он смог прийти к результатам, соответствующим принципу относительности; кажущаяся скорость света была теперь в каждой системе отсчета одной и той же. Подобные идеи обсуждались Пуанкаре, Фицджеральдом и другими физиками.

Решающий шаг был сделан в 1905 году Эйнштейном, истолковавшим кажущееся время в преобразованиях Лоренца как время реальное и исключившим из рассмотрения время, которое Лоренц называл "истинным". Это означало изменение оснований физики -- совершенно неожиданное и радикальное изменение, для которого именно и была необходима смелость молодого и революционного гения. Чтобы сделать этот шаг в плане математического описания природы, надо было лишь применить к опыту преобразование Лоренца непротиворечивым образом. Однако благодаря новому истолкованию этого преобразования изменялись представления физиков о структуре пространства и времени, и многие проблемы физики предстали поэтому в новом свете Эфирная субстанция, например, оказывалась ненужной и могла быть просто вычеркнута из учебников физики. Так как в таком случае все системы отсчета, находящиеся относительно друг друга в состоянии равномерного и прямолинейного движения, при описании природы эквивалентны друг другу, то более не имеет никакого смысла высказывание о том, будто есть такая эфирная субстанция, которая в одной определенной системе из этих систем отсчета находится якобы в состоянии покоя. На самом деле принимать во внимание такую субстанцию больше не имеет смысла и много проще говорить, что световые волны распространяются в пустом пространстве и что электромагнитные поля обладают своей собственной реальностью и могут существовать в пустом пространстве.

Решающее изменение, однако, затрагивает структуру пространства и времени. Очень трудно описать это изменение словами обычного языка без применения математики, так как обычные слова "пространство" и "время" уже относятся к структуре пространства и времени, представляющей собой идеализацию и упрощение действительной структуры. Несмотря на это, необходимо попытаться описать новую структуру, и, пожалуй, это можно сделать следующим образом. Когда мы употребляем слово "прошлое", то тем самым имеем в виду все те события, о которых мы, по крайней мере в принципе, можем что-то знать и получить какие-то сведения. Подобным же образом слово "будущее" охватывает все те события, на которые мы, по крайней мере в принципе, еще можем воздействовать, которые мы можем как-то пытаться изменить или воспрепятствовать их свершению. Хотя сразу трудно утверждать, почему эти определения слов "прошлое" и "будущее" следует считать особенно целесообразными, но можно легко показать, что они в самом деле очень точно соответствуют обычному употреблению этих выражений. Если их употребляют подобным образом, то, как показывают результаты многих экспериментов, область событий, относимых к будущему или прошлому, не зависит от состояния движения или других свойств наблюдателя. На более строгом математическом языке можно сказать, что введенное определение инвариантно относительно перемещений наблюдателя. Оно справедливо как в ньютоновской механике, так и в теории относительности Эйнштейна.

Но здесь возникает существенное различие: в классической теории мы принимаем, что будущее и прошлое отделены друг от друга бесконечно малым интервалом времени, который можно назвать настоящим мгновением. В теории же относительности мы видели, что дело обстоит несколько иначе. Будущее отделено от прошлого конечным интервалом времени, длительность которого зависит от расстояния до наблюдателя. Какое угодно воздействие может распространяться только со скоростью, которая меньше или равна скорости распространения света. Поэтому наблюдатель в данное мгновение не может ни знать, ни оказать влияние на событие, происшедшее в некоторой удаленной точке в промежутке между двумя характеристическими моментами времени. Первый момент -- мгновение, в которое должен быть послан из места события световой сигнал, который достигнет наблюдателя в момент наблюдения. Другой момент -- мгновение, в которое световой сигнал, посланный наблюдателем в момент наблюдения, достигает места события. Весь конечный интервал времени между обоими этими мгновениями может быть назван для наблюдателя в данный момент наблюдения "настоящим". Ибо любое событие, происшедшее в этот интервал времени, не может в момент выполнения наблюдения ни стать известным наблюдателю, ни испытать какое-либо воздействие последнего, и именно так было определено понятие "настоящее". Всякое событие, имеющее место между обоими характеристическими моментами времени, может быть названо "одновременным с актом наблюдения".

Использование выражения "может быть названо" уже указывает на двусмысленность слова "одновременно", объясняющуюся тем, что слово "одновременно" возникло из опыта повседневной жизни, в пределах которого скорость света можно считать практически бесконечно большой. На самом же деле слово "одновременно" может быть определено в физике несколько иначе, и Эйнштейн использовал в своих работах это второе определение "одновременности". Если два события в одной и той же точке пространства происходят одновременно, мы говорим, что они совпадают. Это выражение совершенно однозначно. Теперь представим себе три точки в пространстве, лежащие на одной прямой линии таким образом, что средняя точка находится на одном и том же расстоянии от обеих крайних. Если два события в обеих внешних точках происходят в такие моменты времени, что световые сигналы, посланные в момент свершения событий, приходя в среднюю точку, совпадают, то оба события можно определить как "одновременные". Это определение является в данном случае более узким, чем первое. Одно из его важнейших следствий состоит в том, что, когда два события одновременны для одного наблюдателя, они, возможно, не одновременны для другого наблюдателя; это будет иметь место, если второй наблюдатель движется относительно первого. Соотношение между обоими определениями слова "одновременно" можно выразить высказыванием: во всех случаях, когда два события одновременны в первом смысле, можно найти также систему отсчета, в которой они одновременны и во втором смысле. Несколько более наглядно положение вещей в целом можно, пожалуй, изобразить следующим образом: предположим, что спутник, вращающийся вокруг Земли, испускает сигнал, который через некоторый малый промежуток времени принимается станцией наблюдения на Земле. Эта станция наблюдения в ответ на данный сигнал посылает спутнику команду, которую он принимает через некоторый малый промежуток времени. Весь интервал времени между посылкой сигнала и приемом команды можно считать на спутнике, согласно первому определению, одновременным с моментом приема сигнала на Земле. Если на спутнике выбирается какое-либо определенное мгновение из этого интервала, то, хотя это мгновение, вообще говоря, в смысле второго определения, не "одновременно" с моментом приема сигнала на Земле, всегда существует система отсчета, в которой эта одновременность имеет место.

Первое определение слова "одновременно" кажется несколько более соответствующим обычному употреблению этого слова в повседневной жизни, так как вопрос о том, одновременны ли два процесса, в повседневной жизни определенно не зависит от системы отсчета. В обоих же релятивистских определениях понятие одновременности приобрело ту точность, которая совершенно отсутствовала у него в языке повседневной жизни. В квантовой теории физики должны были уже заранее осознать, что понятия классической механики описывают природу недостаточно точно, что квантовые законы ограничивают их применимость и что поэтому при их использовании необходима большая осторожность. В теории относительности физики, напротив, пытались изменить смысл слов классической физики, уточнив эти понятия таким образом, чтобы они точно соответствовали новой, только что познанной ситуации в природе.

Структура пространства и времени, выявленная теорией относительности, находит много проявлений в самых различных разделах физики. Электродинамика движущихся тел может быть без труда выведена из принципа относительности. Сам этот принцип может быть сформулирован как весьма общий закон природы, относящийся не только к электродинамике или механике, но и к любой группе законов природы: законы должны принимать одну и ту же форму во всех системах отсчета, отличающихся друг от друга лишь состоянием равномерного и прямолинейного движения. Они инвариантны, как можно сказать на языке математики, относительно преобразований Лоренца.

По-видимому, наиболее важным следствием принципа относительности является установление свойства инерции энергии, или эквивалентности массы и энергии. Так как скорость света играет роль предельной скорости, которая никогда не может быть достигнута никаким материальным телом, то можно легко понять, что движущееся тело должно приобретать ускорение с большим трудом, чем еще покоящееся тело. Инерция, стало быть, увеличивается с возрастанием кинетической энергии. Говоря обобщенно, каждый вид энергии несет в себе определенную инерцию, то есть массу, и масса, соответствующая данной энергии, равна этой энергии, деленной на квадрат скорости света. Всякая энергия несет, стало быть, с собой массу, но даже очень большие -- по обычным понятиям -- количества энергии дают все-таки лишь очень небольшое увеличение массы, и это является причиной того, что связь массы и энергии ранее не была обнаружена. Два закона -- закон сохранения массы и сохранения энергии -- потеряли свою независимую друг от друга справедливость и оказались объединенными в единый закон, который можно назвать законом сохранения энергии или массы.

50 лет назад, когда была создана теория относительности, эта гипотеза об эквивалентности массы и энергии революционизировала физику, но экспериментальных доказательств этого закона было тогда очень мало. В наши дни можно во многих экспериментах непосредственно видеть, как элементарные частицы рождаются из кинетической энергии и как такие частицы могут снова исчезнуть, превратившись в излучение. Поэтому ныне превращение энергии в массу и наоборот не представляет собой ничего необыкновенного.

Огромные количества энергии, которые освобождаются при атомных взрывах, представляют собой другое и гораздо более очевидное доказательство справедливости соотношения Эйнштейна. Но, вероятно, здесь следует сделать критическое замечание исторического порядка. Иногда утверждают, что огромные количества энергии возникают при атомных взрывах непосредственно вследствие превращения массы в энергию и что эти гигантские количества энергии могли быть предсказаны только на основе теории относительности. Это мнение основано, однако, на недоразумении. Большие количества энергии, запасенные в недрах атомных ядер, были известны со времени экспериментов Беккереля, Кюри и Резерфорда по радиоактивному распаду. Любое радиоактивное вещество, например радий, выделяет количество тепла, которое может быть высвобождено из такого же количества вещества в химической реакции. Энергия распада ядра урана имеет то же происхождение, что и энергия альфа-распада ядра радия, а именно в основном электростатическое отталкивание двух обломков, на которые атомное ядро распалось. Энергия, высвобождающаяся при атомном взрыве, выделяется, стало быть, непосредственно из этого источника, а не возникает благодаря превращению массы в энергию. Ибо число элементарных частиц с конечной массой покоя во время атомного взрыва совершенно не уменьшается. Правда, энергия связи "строительных кирпичей" атомного ядра проявляет себя также в массах покоя ядер, и поэтому высвобождение энергии косвенно связано и с изменением масс атомных ядер.

Эквивалентность массы и энергии, кроме своего огромного значения для практической физики, подняла также вопросы, связанные с очень старой философской проблематикой. Различные философские системы прошлого исходили из тезиса, что субстанция, или материя, неуничтожима. Эксперименты, которые проводятся в современной физике, показали, что элементарные частицы, например, позитроны и электроны, могут быть уничтожены и превращены в излучение. Означает ли это, что более старые философские системы тем самым опровергнуты новейшим опытом и что аргументы, выдвигающиеся в этих более ранних системах, должны считаться ложными?

Это было бы, несомненно, несколько преждевременное и неоправданное заключение, ибо понятия "субстанция" и "материя" в античной или средневековой философии нельзя просто отождествлять с понятием "масса" в современной физике. Если наши современные знания выразить на языке более старых философских систем, то можно было бы, например, массу и энергию рассматривать в качестве двух различных форм одной и той же субстанции и, таким образом, сохранить представление о неуничтожимости субстанции.

С другой стороны, едва ли можно сказать, что так уж много достигают, выражая новейшие знания на старом языке. Философские системы прошлого сформировались из всей совокупности знаний того времени и поэтому соответствуют тому образу мышления, какой приводил к этим знаниям. Имеется полное основание считать, что философы, размышлявшие о природе много столетий назад, не могли предвидеть развитие квантовой теории или теории относительности. Поэтому понятия, к которым философы давно прошедшего времени пришли на основе анализа своих знаний о природе, не могут ныне соответствовать явлениям, могущим быть наблюдаемыми только с помощью сложнейших -технических средств нашего времени.

Но прежде чем будут обсуждены философские выводы из теории относительности, следует еще кратко обрисовать ее дальнейшее развитие.

Гипотетическая субстанция "эфир", игравшая столь важную роль в более ранних истолкованиях теории Максвелла в XIX столетии, как это уже упоминалось выше, была устранена теорией относительности. Это обстоятельство часто выражают также в виде утверждения, что теорией относительности было устранено абсолютное пространство. Но такое утверждение нуждается в некоторых оговорках. Правда, согласно специальной теории относительности, больше нельзя выбрать определенную систему отсчета, относительно которой эфир покоился бы и которая по этой причине заслуживала бы название "абсолютной". Но было бы все же неправильно утверждать, что теперь пространство будто бы потеряло все физические качества. Уравнения движения материальных тел или полей все еще принимают различный вид в "обычной" системе отсчета и в другой системе, равномерно вращающейся относительно "обычной" системы отсчета. Если ограничиваются теорией относительности 1905, 1906 годов, то существование, центробежных сил во вращающейся системе отсчета доказывает, что существуют физические свойства пространства, позволяющие отличить вращающиеся системы от невращающихся.

В философском плане это не кажется удовлетворительным, и было бы предпочтительнее приписывать физические свойства только физическим объектам, как, например, материальным телам или полям, а не пустому пространству. Однако если ограничиться рассмотрением электромагнитных процессов и механических движений, то наличие этих свойств у пустого пространства следует просто из фактов, которые не могут быть оспорены, например из факта существования центробежной силы.

Тщательный анализ этой ситуации привел Эйнштейна примерно десятилетие спустя к весьма важному обобщению теории относительности, обычно называемому "общей теорией относительности". Но, прежде чем перейти к изложению основных идей новой теории, необходимо сказать несколько слов о степени достоверности, которая гарантирует справедливость этих двух разделов теории относительности. Теория, созданная в 1905 -- 1906 годах, то есть так называемая "специальная" теория относительности, основана на множестве очень точно проверенных экспериментальных фактов -- на опытах Майкельсона и Морлея и многих других подобных экспериментах, на эквивалентности массы и энергии в очень большом числе радиоактивных процессов, на очень точно наблюдаемой зависимости времени жизни радиоактивных объектов от скорости радиоактивных частиц и т. д. Эта теория является, таким образом, твердым, надежным .основанием современной физики и при нашем сегодняшнем знании не может быть оспорена.

В отношении общей теории относительности экспериментальные доказательства, напротив, гораздо менее убедительны, так как в общем экспериментальный материал очень ограничен. Имеется только несколько астрономических наблюдений, с помощью которых можно проверить справедливость предположений теории относительности. Поэтому вторая теория более гипотетична, чем первая.

Решающая фундаментальная гипотеза общей теории относительности -- предположение о тождестве тяготеющей и инертной масс. Весьма тщательные измерения показали, что масса тела, определяемая его весом, в точности пропорциональна другой массе, определяемой инерцией тела. Даже самые точные измерения никогда не давали никаких отклонений от этого закона. Если этот закон имеет универсальное значение, то силы тяготения могут быть поставлены в параллель с центробежными или другими силами, возникающими как реакция на инерционные воздействия. Так как центробежные силы должны быть поставлены в связь с физическими свойствами пустого пространства, как это показано выше, то Эйнштейн пришел к гипотезе о том, что силы тяготения также соответствуют свойствам пустого пространства. Это был очень важный шаг, который тотчас же сделал необходимым новый шаг в том же направлении. Мы знаем, что силы тяготения вызываются массами. Поэтому если тяготение связано со свойствами пространства, то эти свойства пространства должны быть порождены массой или испытывать воздействия масс. Центробежные силы во вращающейся системе отсчета, возможно, должны вызываться вращением относительно этой системы весьма удаленных масс вселенной.

Чтобы провести в жизнь программу, намеченную в этих утверждениях, Эйнштейн должен был связать эти основополагающие физические соображения с математической схемой общей геометрии, развитой Риманом. Так как свойства пространства, очевидно, непрерывно меняются с изменением гравитационных полей, то геометрия мира должна быть подобной геометрии искривленных поверхностей, на которых прямые линии евклидовой геометрии должны быть заменены геодезическими линиями, то есть линиями наименьшей длины, и кривизна непрерывно меняется от точки к точке. В качестве окончательного результата Эйнштейн смог предположить в конце концов математическую формулировку соотношения между распределением масс и параметрами, определяющими геометрию. Эта теория правильно отображает общеизвестные факты, характеризующие тяготение. Она в очень хорошем приближении идентична с обычной теорией тяготения и, кроме того, предсказывает некоторые очень интересные эффекты, лежащие как раз на границе возможностей измерительных приборов. К ним относится, например, влияние силы тяготения на излучение.

Если массивная звезда испускает монохроматическое излучение, то световые кванты, удаляясь от звезды в поле ее тяготения, теряют часть своей энергии. Отсюда следует, что испускаемые спектральные линии должны испытывать смещение к красному концу спектра. До сих пор нет еще, как очень ясно показало обсуждение Фрейндлихом проведенных доныне опытов, ни одного не вызывающего возражений экспериментального доказательства наличия этого красного смещения. Но было бы также преждевременно заключить, что опыты якобы опровергли предсказания теории Эйнштейна.

Луч света, проходящий вблизи Солнца, должен отклоняться полем тяготения Солнца. Это отклонение имеет, как экспериментально показано Фрейндлихом и другими астрономами, предсказываемый порядок величины. Но совпадает ли отклонение точно с предсказываемой теорией Эйнштейна величиной -- этот вопрос остался еще не решенным.

Лучшим экспериментальным доказательством справедливости общей теории относительности является, кажется, движение перигелия орбиты планеты Меркурий, величина которого, по-видимому, находится в очень хорошем согласии с предсказаниями теории.

Хотя, таким образом, экспериментальный базис общей теории относительности еще довольно узок, она, однако, содержит идеи огромнейшей степени важности. В течение всего времени развития математики от античности до XIX столетия евклидова геометрия рассматривалась как самоочевидная. Аксиомы Евклида имели отношение к основаниям любой математической теории геометрического характера и представляли собой базис, который не мог быть поставлен под сомнение. Затем в XIX столетии математики Больяй и Лобачевский, Гаусс и Риман нашли, что можно построить другие геометрии, которые могут быть развиты с той же математической строгостью, что и евклидова. Поэтому вопрос о том, какая геометрия является справедливой, с этого времени становится эмпирическим. И только в трудах Эйнштейна этот вопрос смог быть поставлен как физический. Геометрия, о которой идет речь в общей теории относительности, включает в себя не только геометрию трехмерного пространства, но и четырехмерное многообразие пространства и времени. Теория относительности устанавливает связь между геометрией этого многообразия и распределением масс во вселенной. Значит, эта теория поднимает в новой форме старые вопросы пространства и времени в случае очень больших расстояний, и она предполагает ответы, которые могут быть проверены наблюдениями.

Следовательно, можно снова поставить очень старые философские вопросы, занимавшие человеческий разум со времени самых ранних эпох философии и науки: конечно или бесконечно пространство? Что было до начала времени? Что будет в конце времени? Или у времени нет ни начала, ни конца? Эти вопросы нашли различные ответы в различных религиях и философских системах. В философии Аристотеля, например, все пространство вселенной представлялось как конечное, хотя оно и было бесконечно делимо. Пространство возникает благодаря протяженности тел, оно в известном смысле растягивается телами. Поэтому там, где нет никаких тел, нет и пространства. Вселенная состоит из Земли, Солнца и звезд -- конечного числа тел. По ту сторону сферы неподвижных звезд нет никакого пространства. Поэтому пространство вселенной и было конечным. В философии Канта этот вопрос принадлежал к тому, что он назвал "антиномиями", -- к числу вопросов, на которые нельзя ответить, так как два различных доказательства ведут к взаимно противоположным выводам. Пространство не может быть конечным, потому что мы не можем себе представить "конец" пространства. И какой бы точки пространства мы ни достигли, мы всегда представляем себе, что можем двигаться еще дальше. Но пространство не может быть и бесконечным, потому что пространство -- это нечто, что мы можем себе представить, иначе понятия пространства не возникло бы вовсе, а мы не можем представить себе бесконечное пространство В отношении этого второго утверждения доказательство Канта нельзя передать дословно. Утверждение "пространство бесконечно" означает для нас нечто негативное: мы не можем дойти до "конца" пространства. Для Канта, однако, бесконечность пространства означает нечто действительно данное, нечто, что "существует" в смысле, который мы едва ли можем выразить. Кант приходит к выводу, что на вопрос о том, конечно или бесконечно пространство, нельзя дать никакого рационального ответа, потому что вселенная в целом не может быть предметом нашего опыта.

Подобное же положение возникает и относительно проблемы бесконечности времени. В исповеди Августина, например, вопрос поставлен в следующей форме: "Что делал бог до того, как он создал мир?" Августин не был удовлетворен известным ответом: "Бог был занят тем, что создавал ад для людей, задающих глупые вопросы". Это был бы слишком дешевый ответ, полагает Августин; и он пытается рационально проанализировать проблему: только для нас время течет, только мы ожидаем его как будущее, оно протекает для нас как настоящее мгновение, и мы вспоминаем о нем, как о прошлом. Но бог не находится во времени. Тысяча лет для него -- что один день, и один день -- что тысяча лет. Время было создано вместе с миром, оно, стало быть, принадлежит миру, и поэтому в то время, когда не существовало вселенной, не было и никакого времени. Для бога весь ход событий во вселенной был дан сразу. Значит, не было никакого времени до того, как мир был создан богом.

Правда, легко понять, что в подобных формулировках понятие "создан" тотчас же приводит к существенным трудностям. Это слово, в том виде как оно обычно употребляется, означает нечто, что возникает и чего ранее не существовало, и в этом смысле оно уже предполагает понятие времени. Поэтому в рациональных выражениях невозможно дать определение того, что можно понимать под оборотом речи "время было создано". Это обстоятельство снова напоминает нам часто обсуждаемый урок, который необходимо извлечь из новейшего развития физики, а именно: что всякое слово или всякое понятие, каким бы ясным оно нам ни казалось, имеет все-таки только ограниченную область применения.

Эти вопросы о бесконечности пространства и времени могут быть в общей теории относительности поставлены и отчасти -- на основании эмпирического материала -- решены. Если теория правильно описывает связь четырехмерной геометрии пространства и времени с распределением масс во вселенной, то астрономические наблюдения о распределении спиральных туманностей в пространстве могут дать нам информацию о геометрии вселенной. Тогда можно будет построить по крайней мере модели вселенной, космологические картины, следствия которых могут быть сравнены с эмпирическими фактами.

Наши современные астрономические познания не позволяют окончательно решить, какую из нескольких возможных моделей следует выбрать. Может оказаться, что пространство вселенной конечно. Но это не означало бы, что в каком-нибудь месте есть "конец" вселенной. Это вело бы только к тому, что если бы мы все далее и далее продвигались во вселенной в одном определенном направлении, то в конце концов должны были бы возвратиться к точке, из которой начали движение. Положение, стало быть, напоминало бы двумерную геометрию на поверхности Земли, где мы также, если будем двигаться из определенной точки все далее и далее, скажем, в восточном направлении, в конце концов возвратимся к этой точке с запада.

Что касается времени, то здесь, кажется, что-то вроде "начала" имело место. Многие наблюдения указывают на то, что вселенная около 4 миллиардов лет назад имела "начало" или, во всяком случае, что в то время материя вселенной была сконцентрирована в значительно меньшем объеме пространства, чем сейчас, и что с того времени вселенная все еще продолжает расширяться из этого небольшого объема с различными скоростями. Это одно и то же время в 4 миллиарда лет все снова и снова появляется во многих различных наблюдениях, например возраста метеоритов, минералов на Земле и т. д., и поэтому было бы, вероятно, затруднительно найти этому объяснение, совершенно отличное от идеи возникновения мира 4 миллиарда лет назад. Если идея "возникновения" в этой форме окажется правильной, то это будет означать, что по ту сторону указанного момента времени -- то есть ранее чем 4 миллиарда лет назад -- понятие времени должно претерпеть существенные изменения. Это более осторожное заключение становится на место простой формулировки о создании мира. При современном состоянии астрономических наблюдений эти вопросы геометрии пространства-времени еще не могут быть решены с какой-нибудь степенью надежности. Но уже довольно интересно знать, что эти вопросы, возможно, позднее смогут быть решены в один прекрасный момент на прочной основе астрономических знаний.

Даже если дальнейшее рассмотрение ограничить более надежно обоснованной специальной теорией относительности, то можно не сомневаться, что эта теория в огромной степени изменила наши представления о структуре пространства и времени. Беспокоит в этих изменениях, пожалуй, не столько их особенная природа, сколько тот факт, что они вообще оказались возможны. Структура пространства и времени, которую Ньютон математически установил в качестве основы своего описания природы, не содержала никаких внутренних противоречий, была проста и очень точно соответствовала употреблению понятий пространства и времени, к которому мы привыкли в повседневной жизни. Соответствие фактически было столь близким, что ньютоновские определения можно было рассматривать просто как точную математическую формулировку этих понятий пространства и времени повседневной жизни. До теории относительности считалось само собой разумеющимся, что процессы могут быть упорядочены во времени независимо от их расположения в пространстве. Мы знаем, что в повседневной жизни это впечатление возникает потому, что скорость света значительно больше каких угодно других скоростей, с которыми имеют дело в повседневной жизни. В то время это ограничение, естественно, никто не представлял себе отчетливо. Но даже при условии, что сейчас мы знаем об этом ограничении, едва ли можно себе представить, что порядок событий во времени должен зависеть от их пространственного расположения, то есть от места, в котором они происходят.

Философия Канта позднее привлекла внимание к тому факту, что понятия пространства и времени включаются в наши отношения с природой, а не только принадлежат природе самой. Мы не можем описывать природу, не пользуясь этими понятиями. Поэтому в известном смысле эти понятия априорны, они представляют собой прежде всего условие опыта, а не результат опыта, и потому вообще предполагается, что они не могут быть изменены новым опытом. Ввиду этого необходимость изменения оказалась большой неожиданностью. Ученые в первый раз ощутили, какая необходима осторожность при попытках применить понятия повседневной жизни к усовершенствованному на базе новейшей экспериментальной техники опыту. Даже точная и непротиворечивая формулировка этих понятий на математическом языке ньютоновской механики или их тщательный анализ в философии Канта не дали никакой гарантии от необходимости их критического анализа, который стал возможен позднее благодаря исключительно точным измерениям. Это предупреждение позднее оказалось для развития новейшей физики чрезвычайно полезным, и понять квантовую теорию было бы наверняка значительно труднее, если бы успех теории относительности не предостерег физиков от некритического применения понятий, которые заимствованы из повседневной жизни или классической физики.