

с помощью волновых характеристик, которые можно зарегистрировать подходящим детектором. Так как на больших расстояниях пространство почти плоское, геометрические соотношения между удаленными мировыми точками допускают наличие некоторых из характеристик обычно связанных с полным уплощением. В результате математическая задача построения маркирующих отметок, к которым можно отнести положение в пространстве и времени, упрощается и конструирование наблюдаемых, напоминающих наблюдаемые привычных физических теорий, может быть осуществлено. К сожалению, еще совсем неясно, будут ли эти наблюдаемые (которые Бонди назвал *новыми функциями*) иметь прямое отношение к наблюдаемым, вводимым в общей теории; именно это могло бы дать некоторую гарантию на успех в общем случае.

#### *24. Пространство-время сегодня и завтра*

На протяжении всей этой книги свойства пространства и времени составляли тот фон, на котором разворачивалась эволюция нашего понимания тяготения. Во всей истории естественных наук пространство и время служили тем помостом, на котором наблюдалась, описывалась, анализировалась и интерпретировалась динамика физических систем и даже Вселенной в целом. Вплоть до двадцатого века считалось, что этот помост не имеет никакого отношения к драматическим событиям, разыгрывающимся на нем; его свойства принимались раз навсегда данными и не зависящими от присутствия вещества или каких-либо других физических объектов. Конечно, вместе с интеллектуальным ростом человечества свойства, приписываемые пространству и времени, становились все более и более сложными и все больше и больше отходили от «интуитивных» представлений, основанных на опыте повседневной жизни.

По представлениям Ньютона трехмерный пространственный континуум был плоским; к физическому пространству можно было применять постулаты Евклида. Пространство образовано из точек, которые можно было упорядочить в трехмерную решетку; решетку же можно было построить из прямых линий. Декартовы координаты являются наиболее естественной системой координат для такого многообразия. Время мыслилось как одномерный континуум, не зависящий от пространства и обладающий

полной однородностью вдоль всего своего (бесконечного) протяжения. Любой момент времени может быть взят за начальный; все другие моменты времени направлены вперед (будущее) или назад (прошлое) без конца. Соотношение между временем и пространством не позволяло считать какое-либо состояние движения (единственным) состоянием абсолютного покоя; целый класс состояний движения обладал особым свойством — в нем не было внутренних ускорений. Координатные системы, движущиеся без ускорения, в обычном пространстве в сочетании с однородной шкалой времени определяют класс инерциальных систем отсчета.

В специальной теории относительности временной континуум уже зависит от пространственного континуума: вместе они образуют четырехмерный континуум, Вселенную Минковского, которая обладает однозначно определенной (плоской) собственной геометрией. Вселенная Минковского также не зависит от объектов, находящихся в ней. Инерциальные координатные системы по-прежнему однозначно определены и составляют отчетливо выделяемый класс координатных систем, особенно удобный для использования в геометрии Минковского.

Переход от специальной теории относительности к общей теории относительности также означает образование четырехмерного континуума, который локально напоминает Вселенную Минковского. Но этот новый континуум уже не плоский. Детали геометрии теперь уже зависят от гравитационного поля, на которое в свою очередь оказывает влияние распределение его источников.

Но, какова бы ни была геометрия, мировые точки маркируются значениями своих координат. В ньютоновском пространстве-времени, а также во Вселенной Минковского взаимоотношение между несколькими мировыми точками полностью определено, если известны соответствующие значения их координат. Это обусловлено двумя причинами: во-первых, тем, что геометрия этих многообразий задана раз навсегда, а во-вторых, тем, что все «подходящие» координатные системы, т. е. инерциальные системы, представляют собой жесткие копии одна другой всегда с прямыми углами между координатными осями. Знание расстояния между двумя мировыми точками не определяет координат этих точек, но обратное верно: если соответствующие значения координат двух мировых то-

чек известны, расстояние между этими точками может быть подсчитано по простой формуле. Далее, лоренцева система отсчета может быть полностью определена несколькими простыми данными. Достаточно, например, зафиксировать начало оси времени (момент, который следует назвать «настоящим»), начало системы отсчета в два различных момента времени (чтобы определить движение инерциальной системы отсчета) и направление трех пространственных осей (всего лишь один раз) с помощью трех углов. В эту информацию входит всего лишь десять данных. Существенно, что те же самые десять элементов информации пригодны для выделения инерциальной системы отсчета как в ньютоновской физике, так и в специальной теории относительности.

В общей теории относительности не существует ни прямолинейных координат, ни каких-либо других жестко фиксированных координатных систем. Таким образом, нельзя указывать конечное число элементов информации, которое было бы достаточно, чтобы зафиксировать четырехмерную координатную систему. Соответствующие координаты двух мировых точек сами по себе не дают информации ни о расстоянии между точками, ни о каких-либо иных геометрических взаимосвязях этих точек. Когда гравитационные поля описываются через геометрию, налагаемую на четырехмерный континуум мировых точек, такое описание можно интерпретировать следующим образом: «можно подобрать (четырёхмерную) координатную систему, в которой тензор кривизны принимает такую-то форму». Это обстоятельство и дает реальную и полную характеристику конкретной геометрии. Но та же самая геометрия может быть отождествлена на бесконечности различными путями. Если принять некоторое определенное описание, произвольное преобразование координат (переход к новой системе координат, к новой системе отсчета) приведет к новому и совершенно другому описанию той же самой геометрии, причем это новое описание вполне равноправно предшествующему.

Согласно общей теории относительности пространственно-временной континуум все еще состоит из мировых точек, причем эти мировые точки можно маркировать (хотя и неоднозначно) с помощью координат. В конкретном гравитационном поле мировые точки можно маркировать, причем однозначным образом, на основе геометри-

ческих свойств. Поскольку в каждой точке можно указать бесконечное множество геометрических параметров, маркировка точек возможна бесконечным числом способов; все эти способы маркировки могут быть переведены один в другой, но не с помощью универсального словаря, а лишь благодаря особенностям данной конкретной геометрии. Фактически «соударения», упоминавшиеся в связи с понятиями наблюдаемых величин, и представляют такой специальный словарь.

Так что же остается от мировой точки? С исчезновением некогда прямолинейного и плоского многообразия и его преобразованием в искривленный и изогнутый нерегулярный континуум роль мировой точки почти сошла на нет. Нетрудно проследить, что в современной формулировке общей теории относительности мировая точка остается как след предшествующих физических теорий, который обречен на исчезновение по мере развития теории.

Как и все другие теории, описывающие явления природы, теория относительности несомненно нуждается в усовершенствовании и, быть может, даже полной замене, когда этого потребуют новые сведения о физической Вселенной. Но, не принося окончательного ответа, каждый крупный шаг в развитии теории открывает перед человеком новые возможности для понимания окружающего мира. Механика Ньютона четко разъяснила понятия массы и силы; синтез законов электромагнетизма позволил Фарадею и Максвеллу подойти к представлению о физических полях. Теория относительности показала людям, что пространство и время отнюдь не неизменный фон для находящихся в движении физических систем; напротив, гравитационное поле и геометрия пространства-времени образуют единое целое. Представление о геометрии как о непрерывно изменяющемся аспекте реального мира, а не как об абстрактной математической структуре — вот тот вклад в познание природы, который переживет частные особенности эйнштейновских законов тяготения.