

ленными точками тела отсчета. Соответствующие значения времени мы можем также определить путем констатации встреч тела с часами вместе с констатацией встреч стрелок часов с определенными точками циферблотов. После некоторого размышления мы видим, что точно так же обстоит дело с пространственными измерениями с помощью масштабов.

Вообще, всякое физическое описание сводится к некоторому числу констатаций, каждое из которых относится к пространственно-временному совпадению двух событий A и B . В гауссовых координатах всякая такая констатация выражается через совпадения четырех координат x_1, x_2, x_3, x_4 этих событий. Таким образом, в действительности описание пространственно-временного континуума в гауссовых координатах вполне заменяет описание с помощью тела отсчета, не страдая при этом недостатками последнего метода описания; оно не связано с евклидовым характером описываемого континуума.

§ 28. Точная формулировка общего принципа относительности

Теперь мы в состоянии заменить предварительную формулировку общего принципа относительности, данную в § 18, более точной. Первоначально мы формулировали общий принцип следующим образом: «Все тела отсчета K, K' и т. д. эквивалентны для описания природы (формулировки общих законов природы), каково бы ни было состояние движения этих тел отсчета». Эта формулировка не может быть сохранена, поскольку невозможно пользоваться твердыми телами отсчета в том смысле, в каком это делалось в специальной теории относительности, при пространственно-временном описании. Место тела отсчета занимает гауссова система координат. Основной идея общего принципа относительности соответствует следующее утверждение: «*Все гауссовые системы координат в принципе эквивалентны для формулирования общих законов природы*».

Этот общий принцип относительности можно выразить еще и в другой форме, из которой еще отчетливее видно, что он является естественным обобщением специального принципа относительности. Согласно специальной теории относительности, уравнения, которые выражают общие законы природы, сохраняют свою форму, если вместо пространственно-временных переменных x, y, z, t относительно (галилеева)

тела отсчета K ввести с помощью преобразования Лоренца переменные x' , y' , z' , t' относительно нового тела отсчета K' . Согласно же общей теории относительности, эти уравнения при любом преобразовании гауссовых переменных x_1 , x_2 , x_3 , x_4 должны переходить в уравнения того же вида, поскольку всякое преобразование (не только преобразование Лоренца) отвечает переходу от одной гауссовой системы координат к другой.

Тот, кто не желает отказываться от обычного трехмерного представления, может охарактеризовать развитие основной идеи общей теории относительности следующим образом: специальная теория относительности относится к галилеевым областям, т. е. к таким, в которых не существует гравитационного поля. При этом телом отсчета служит галилеево тело отсчета, т. е. твердое тело, находящееся в таком состоянии движения, что для него выполняется галилеев закон равномерного и прямолинейного движения «изолированных» материальных точек.

Некоторые соображения позволяют распространить те же галилеевы области и на негалилеевы тела отсчета. Тогда относительно последних существует гравитационное поле специального вида (см. §§ 20 и 23).

Но в полях тяготения не существует твердых тел с евклидовыми свойствами; поэтому понятие твердого тела отсчета не применимо в общей теории относительности. Гравитационные поля влияют и на ход часов, так что физическое определение времени непосредственно с помощью часов совершенно не обладает той степенью очевидности, какой оно обладает в специальной теории относительности.

Поэтому используются нежесткие тела отсчета, которые могут не только двигаться произвольным образом как целое, но и претерпевать изменения формы при своем движении. Для определения времени служат часы со сколь угодно нерегулярным ходом. Мы должны представить себе, что эти часы помещены в какой-либо точке нежесткого тела отсчета; они удовлетворяют лишь одному условию, которое заключается в том, что одновременно воспринимаемые показания часов, находящихся в соседних пространственных точках, различаются бесконечно мало. Это деформируемое тело отсчета, которое не без основания можно назвать «моллюском отсчета», по существу равноценно любой четырехмерной гауссовой системе координат. По сравнению с гауссовой системой «моллюск» имеет известную наглядность, благодаря формальному сохранению (собственно говоря, без оснований) самостоятельного су-

ществования пространственных координат по отношению к временной координате. Каждая точка моллюска рассматривается как пространственная точка, и каждая покоящаяся относительно моллюска материальная точка считается просто покоящейся, пока сам моллюск рассматривается как тело отсчета. Общий принцип относительности требует, чтобы все эти моллюски могли быть использованы в качестве тел отсчета с одинаковым успехом при формулировании общих законов природы; эти законы совершенно не должны зависеть от выбора моллюска. Именно в далеко идущих ограничениях, которые налагаются на законы природы, и лежит истинная сила общего принципа относительности.

§ 29. Решение проблемы гравитации на основе общего принципа относительности

Если читатель внимательно следил за всеми предыдущими рассуждениями, то он без труда поймет и методы, ведущие к решению проблем гравитации.

Мы исходим из рассмотрения галилеевой области, т. е. области, в которой не существует поля тяготения относительно галилеева тела отсчета K .

Поведение масштабов и часов так же, как и поведение «изолированных» материальных точек относительно K , известно из специальной теории относительности; последние движутся прямолинейно и равномерно.

Теперь отнесем эту область к любой системе гауссовых координат или к «моллюску» как телу отсчета K' . Тогда по отношению к K' существует гравитационное поле G (особого вида). Поведение измерительных линеек, часов, а также свободно движущихся материальных точек относительно K' мы изучаем просто путем математических расчетов. Это поведение мы интерпретируем как поведение измерительных линеек, часов и материальных точек под влиянием гравитационного поля G . Затем мы вводим следующую гипотезу: гравитационное поле действует на измерительные линейки, часы и свободно движущиеся материальные точки согласно тем же законам и в том случае, когда существующее гравитационное поле не может быть выведено путем простого преобразования координат из галилеева специального случая.

Следующим шагом является исследование пространственно-временного поведения гравитационного поля G , которое было выведено из