и времени. Выше мы видели, что в определение времени и длины обязательно входят компоненты метрического тензора и координатные переменные (см. формулы (4.12) и (4.13)). Эйнштейн, как он отмечает в работе [16], понял это лишь в 1912 г. Галилеевы координатные величины совпадают или простейшим образом связаны с физическими величинами $d\tau$ и dl^2:

$$d\tau = dT;\quad dl^2 = dX^2 + dY^2 + dZ^2.$$

§ 18. Обобщенный принцип относительности

Как мы уже знаем, Пуанкаре и Минковский открыли, что пространство-время, в котором протекают все физические процессы, едино и геометрия его псевдоевклидова. Однако в результате этого открытия принцип относительности утратил свою фундаментальную роль и превратился в частное следствие того, что все физические процессы протекают в пространстве-времени, геометрия которого псевдоевклидова. Метрика этого пространства-времени остается форминвариантной при преобразованиях, описывающих переход от одной инерциальной системы отсчета к другой, что и обеспечивало эквивалентность инерциальных систем отсчета для описания всех физических явлений. Таким образом, фундаментальную роль стала играть геометрия пространства-времени.

Теперь же я хочу показать, что утверждение о том, что все физические процессы происходят в пространстве-времени, геометрия которого псевдоевклидова, гораздо богаче содержания принципа относительности, поскольку это утверждение позволяет сформулировать обобщенный принцип относительности, справедливый не только в инерциальных, но и в неинерциальных системах отсчета. В этой связи необходимо отметить, что в литературе довольно часто можно встретить утверждения о том, что специальной теории относительности принадлежит только описание явлений в инерциальных системах отсчета, в то время как описание явлений в неинерциальных системах отсчета является прерогативой общей теории относительности.

Эти утверждения неправильны. Из фундаментального открытия Пуанкаре и Минковского, что геометрия пространства-времени, в которой происходят все физические процессы, является псевдоевклидовой, следует, что для описания физических явлений мы можем пользоваться любым классом допустимых систем отсчета: как инерциальных, так и неинерциальных. Тензор кривизны этого пространства-времени, определяющий всю его внутреннюю геометрию, остается равным нулю как в инерциальных, так и в неинерциальных системах отсчета. Поэтому в рамках специальной теории относительности полностью возможно описание физических явлений и в неинерциальных системах отсчета.

Поскольку геометрия пространства-времени при переходе между различными системами отсчета не изменяется и остается псевдоевклидовой, то для любой системы отсчета, как инерциальной, так и неинерциальной, существует десятипараметрическая группа преобразований координат, оставляющих метрический тензор форминвариантным. Таким образом, в псевдоевклидовом пространстве-времени для любой системы отсчета мы можем указать бесконечную совокупность других систем отсчета, преобразования между которыми оставляют метрику форминвариантной.

Это означает, что в псевдоевклидовом пространстве-времени справедлив обобщенный принцип относительности, который я сформулирую следующим образом: какую бы физическую систему отсчета мы ни избрали (инерциальную или неинерциальную), всегда можно указать бесконечную совокупность других систем отсчета, таких, в которых все физические явления протекают одинаково с исходной системой отсчета; так что мы не имеем и не можем иметь никаких экспериментальных возможностей различить на эксперименте, в какой именно системе отсчета из этой бесконечной совокупности мы находимся. Таким образом, определяя для произвольной допустимой системы отсчета преобразования координат, оставляющих метрику форминвариантной, мы тем самым находим всю бесконечную совокупность систем отсчета, физически эквивалентных с исходной системой.

Следует особо подчеркнуть, что любой физический процесс позволяет определить, находимся мы в инерциальной или неинерциальной системе отсчета. Однако никакой физический эксперимент не в силах дать ответ на вопрос: а в какой именно системе из бесконечного набора систем отсчета, имеющих форминвариантную метрику, мы находимся? Открытие псевдоевклидовой геометрии пространства-времени позволило нам сформулировать физические законы как в инерциальных, так и в неинерциальных системах отсчета и этим самым опровергнуть ошибочное утверждение о неприменимости специальной теории относительности к ускоренным системам отсчета.

Покажем на примере релятивистски равноускоренной системы отсчета, каким образом можно найти все совокупности систем отсчета, метрика которых форминвариантна метрике исходной системы отсчета.

§ 19. Релятивистски равноускоренное движение

Для построения релятивистски равноускоренной системы отсчета нам необходимо прежде всего выяснить, какое движение следует называть релятивистски равноускоренным.

Как известно, в классической механике равноускоренным движением материальной точки называется движение под действием постоянной по величине и направлению силы

$$f^{\alpha}=\text{const}. \tag{19.1}$$

Перенося это определение на релятивистский случай, естественно называть релятивистски равноускоренным движением такое движение, которое происходит под действием постоянной по величине и направлению силы (19.1), но удовлетворяет уже уравнениям релятивистской механики:

$$m_0 c\,\frac{du^i}{ds}=F^i, \tag{19.2}$$

где $u^i=dx^i/ds$ — 4-вектор скорости частицы

$$u^i=\left[\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}},\quad \frac{v^{\alpha}}{c\sqrt{1-v^2/c^2}}\right]; \tag{19.3}$$

F^i — 4-вектор силы

$$F^i=\left[\frac{\mathbf{fv}}{c^2\sqrt{1-v^2/c^2}},\quad \frac{f^{\alpha}}{c\sqrt{1-v^2/c^2}}\right]; \tag{19.4}$$

f^{α} — обычная трехмерная сила.